

TUGAS AKHIR
PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH UJI BETON SEBAGAI
SUBSTITUSI AGREGAT KASAR TERHADAP KUAT TEKAN
(Studi Penelitian)

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

Disusun Oleh:

MUHAMAD FADLI
1807210115



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2024

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhamad Fadli

Npm : 1807210115

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan Limbah Uji Beton Sebagai
Substitusi Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan
(*Penelitian*)

Bidang Ilmu : Struktur

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

Medan, 27 Mei 2024

Dosen Pembimbing



Sri Frapanti, S.T., M.T

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhamad Fadli
NPM : 1807210115
Program Studi : Teknik Sipil
Bidang Ilmu : Struktur
Judul Skripsi : PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH UJI BETON
SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT KASAR
TERHADAP KUAT TEKAN

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

Medan, 27 Mei 2024

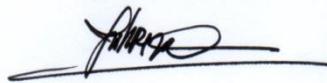
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing/Penguji



Sri Frapanti, S.T., M.T

Dosen Pembanding I



Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain

Dosen Pembanding II



Fetra Venny Riza, S.T., M.Sc, Ph.D

Ketua Prodi Teknik Sipil



Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Muhamad Fadli
Tempat /Tanggal Lahir : Medan, 23 Februari 2000
NPM : 1807210115
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH UJI BETON SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT KASAR TERHADAP KUAT TEKAN”

Bukan merupakan *plagiarism*, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material serta segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidak sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat serupa pembatalan kelulusan/sarjana saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan keadaan sadar dan tidak dalam tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun, demi menegakkan integritas Akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 27 Mei 2024

Saya yang menyatakan,



Muhamad Fadli

ABSTRAK
PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH UJI BETON SEBAGAI
SUBSTITUSI AGREGAT KASAR TERHADAP KUAT TEKAN

Muhamad Fadli
1807210115
Sri Frapanti, S.T., M.T

Limbah beton sangat mudah diperoleh dari hasil pengujian beton pada laboratorium konstruksi, dan limbah beton sangat mudah menumpuk karena sulitnya mencari lokasi sebagai tempat pembuangannya. Hal ini akan berdampak buruk terhadap pelestarian lingkungan. Proses daur ulang merupakan salah satu cara untuk mengatasi permasalahan limbah beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan beton normal dengan beton campuran dari penggunaan limbah beton yang didaur ulang kembali. Untuk beton campuran dengan melakukan substitusi pada agregat kasar yang memiliki variasi 15%, 25%, dan 35%, dan umur beton yang digunakan yaitu umur 14 hari, 21 hari dan umur 28 hari penulis menggunakan perhitungan estimasi yang dicapai. Karakteristik limbah beton yang digunakan adalah limbah uji kuat tekan beton silinder f'_c 20. Dalam penelitian ini membuat sampel sebanyak 16 buah beton dengan mutu rencana adalah f'_c 20 dan benda uji berupa silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Hasil penelitian ini menunjukan pada saat pengujian kuat tekan beton normal dengan beton campuran, maka didapat kuat tekan beton normal pada umur 14 hari yaitu 20,27 MPa, sedangkan untuk beton campuran umur beton 14 hari variasi 15% 13,46 MPa, 25% 13,53 MPa, dan 35% 13,52 MPa, pada pengujian kuat tekan beton normal umur 21 hari yaitu 21,59 MPa, sedangkan variasi 15% 18,61 MPa, 25% 15,32 MPa, dan 35% 17,7 MPa, dan untuk perolehan estimasi pada kuat tekan beton normal umur 28 hari yaitu 21,86 MPa, sedangkan variasi 15% 18,84 MPa, 25% 15,51 MPa, dan 35% 17,92 MPa. Hasil kuat tekan yang diperoleh ternyata tidak sampai dengan mutu yang direncanakan, hal ini disebabkan karena keadaan agregat limbah beton memiliki pori yang besar sehingga mengakibatkan nilai uji kuat tekan beton menurun.

Kata Kunci: Limbah Beton, Beton, Agregat Kasar, Kuat Tekan

ABSTRACT
THE EFFECT OF COMPRESSIVE STRENGTH ON THE USE OF
CONCRETE TEST WASTE AS A SUBSTITUTE FOR COARSE
AGGREGATE

Muhamad Fadli
1807210115
Sri Frapanti, S.T., M.T

Concrete waste is very easy to obtain from the results of concrete testing in construction laboratories, and concrete waste is very easy to accumulate because it is difficult to find a location as a disposal site. This will adversely affect environmental conservation. The recycling process is one way to overcome the problem of concrete waste. This study aims to determine the compressive strength of normal concrete with mixed concrete from the use of recycled concrete waste. For mixed concrete by substituting coarse aggregate which has variations of 15%, 25%, and 35%, and the age of concrete used is 14 days, 21 days and 28 days, the author uses the estimated calculation achieved. The characteristics of the concrete waste used are f_c 20 cylindrical concrete compressive strength test waste. In this study, 16 pieces of concrete were sampled with the quality of the plan is f_c 20 and the test specimen is a cylinder measuring 15 cm in diameter and 30 cm high. The results of this study showed that when testing the compressive strength of normal concrete with mixed concrete, the compressive strength of normal concrete was obtained at the age of 14 days, which was 20.27 MPa, while for mixed concrete the age of 14 days was a variation of 15% 13.46 MPa, 25% 13.53 MPa, and 35% 13.52 MPa, in the compressive strength test of normal concrete aged 21 days, which was 21.59 MPa, while the variation of 15% is 18.61 MPa, 25% is 15.32 MPa, and 35% is 17.7 MPa, and for the estimated achievement of the compressive strength of normal concrete aged 28 days, which is 21.86 MPa, while the variation of 15% is 18.84 MPa, 25% is 15.51 MPa, and 35% is 17.92 MPa. The compressive strength results obtained were not up to the planned quality, this was due to the aggregate state of concrete waste having large pores, resulting in a decreased concrete compressive strength test value.

Keywords: waste concrete, concrete, coarse aggregate, compressive strength

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pengaruh Substitusi Limbah Beton Terhadap Agregat Kasar Pada Uji Kuat Tekan Beton” 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 Sri Frapanti, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain selaku Dosen Penguji I yang telah memberi masukan dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Fetra Venny Riza, S.T., M.Sc, Ph.D selaku Dosen Penguji II yang telah memberi masukan dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Program Studi Teknik Sipil yang ikut andil dalam proses administrasi penelitian

8. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu Teknik Sipil kepada penulis.
9. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Teristimewa sekali penulis ucapkan kepada Selamat Riyadi (Ayah), Hayati Saragih (Mamak) tercinta, yang sangat berusaha dalam membesarkan dan memberikan kasih sayangnya kepada penulis.
11. Bapak/ibu Pimpinan PT. Rapi Arjasa beserta jajarannya yang sudah memberikan kesempatan baik waktu dan tempat dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir penulis.
12. Kepada Bapak Ahmad Hamas Sorimatua Harahap, S.Tr.T., M.Tr.T., yang selalu memberikan bimbingan dan masukan selama penulis menyelesaikan tugas akhir di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
13. Kepada Muflihah Atirrah Ritonga yang telah memberikan dukungan, perhatian, serta waktu yang sudah diluangkan dalam penyelesaian tugas akhir penulis.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan penulisan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Medan, 27 Mei 2024

Penulis

Muhamad Fadli

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4 Tujuan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Limbah Uji Beton	8
2.3 Agregat Kasar	9
2.4 Kuat Tekan Beton	11
2.5 Persamaan Regresi Linear Sederhana	13
BAB 3 METODE PENELITIAN	14
3.1 Metode Penelitian	15
3.2 Tahapan Penelitian	15
3.3 Lokasi dan Waktu Penelitian	16
3.4 Sumber dan Teknik Pengambilan Data	17
3.4.1 Data Primer	17

3.4.2	Data Sekunder	17
3.5	Alat Dan Bahan	17
3.5.1	Alat	18
3.5.2	Bahan	19
3.5.3	Jumlah Benda Uji	20
3.6	Langkah-Langkah Pemeriksaan Agregat	20
3.6.1	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	20
3.6.2	Analisa Gradasi Agregat	21
3.6.3	Kadar Lumpur Agregat Halus	22
3.6.4	Berat Isi Agregat	22
3.6.5	Kadar Air Agregat	23
3.7	Limbah Uji Beton Silinder	24
3.8	<i>Mix Design</i>	24
3.9	Pembuatan Benda Uji	25
3.10	Pemeriksaan <i>Slump Test</i>	26
3.11	Perawatan (<i>Curing</i>) Benda Uji	27
3.12	Kuat Tekan Beton	28
BAB 4 PEMBAHASAN DAN HASIL		30
4.1	Hasil dan Data Analisa Pemeriksaan Material Agregat	30
4.2	Agregat Halus	31
4.2.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air	31
4.2.2	Analisa Gradasi Agregat Halus	32
4.2.3	Kadar Lumpur Agregat Halus	33
4.2.4	Berat Isi Agregat Halus	34
4.2.5	Kadar Air Agregat Halus	34
4.3	Pemeriksaan Agregat Kasar	35
4.3.1	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	35
4.3.2	Analisa Gradasi Agregat Kasar	36
4.3.3	Kadar Lumpur Agregat Kasar	37
4.3.4	Berat Isi Agregat Kasar	38
4.3.5	Kadar Air Agregat Kasar	38
4.4	Perencanaan Campuran dan Kebutuhan Bahan Beton	39

4.4.1	<i>Mix Design</i> Beton Normal Mutu Sedang	39
4.5	Kebutuhan Bahan	42
4.6	Pengujian Slump Test (Slump Rencana 75-150mm)	44
4.7	Hasil dan Analisa Penyerapan Air	46
4.8	Pengujian Kuat Tekan Beton	49
4.9	Regresi Linear Antara Persentase Substitusi Agregat Kasar Dengan Kuat Tekan Umur 28 Hari	53
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		54
5.1	Kesimpulan	54
5.2	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA		56
FOTO DOKUMENTASI		58

DAFTAR TABEL

- Tabel 2.1 Rangkuman penelitian terdahulu.
- Tabel 2.2 Batas gradasi agregat kasar (SNI 03-2834, 2000).
- Tabel 2.3 Angka konversi pada umur beton.
- Tabel 3.1 Jumlah benda uji beton normal dan beton modifikasi.
- Tabel 4.1 Data-data dasar dari hasil pengujian agregat.
- Tabel 4.2 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus.
- Tabel 4.3 Data pengujian analisa gradasi agregat halus dengan batas Zona 2.
- Tabel 4.4 Data pengujian kadar lumpur pada agregat halus.
- Tabel 4.5 Data pengujian berat isi agregat halus dengan cara lepas, cara tusuk, dan cara penggoyangan.
- Tabel 4.6 Data pengujian kadar air agregat halus.
- Tabel 4.7 Hasil data pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar.
- Tabel 4.8 Data pengujian analisa gradasi agregat kasar dengan spesifikasi ukuran 19 mm.
- Tabel 4.9 Data pengujian kadar lumpur agregat kasar.
- Tabel 4.10 Data pengujian berat isi agregat kasar dengan cara lepas, cara tusuk, dan cara penggoyangan.
- Tabel 4.11 Data pengujian kadar air agregat kasar.
- Tabel 4.12 Data-data dasar dari hasil pengujian agregat.
- Tabel 4.13 Perencanaan Campuran Beton dengan Metode ACI
- Tabel 4.14 Banyaknya limbah beton yang dibutuhkan untuk 1 benda uji silinder.
- Tabel 4.15 Hasil nilai dari pengujian *Slump Test*.
- Tabel 4.16 Hasil pengujian penyerapan beton normal umur 14.
- Tabel 4.17 Hasil pengujian penyerapan beton campuran LB 15%.
- Tabel 4.18 Hasil pengujian penyerapan beton campuran LB 25%.
- Tabel 4.19 Hasil pengujian penyerapan beton campuran LB 35%.
- Tabel 4.20 Hasil pengujian penyerapan beton normal umur 21.
- Tabel 4.21 Hasil pengujian penyerapan beton campuran LB 15%.
- Tabel 4.22 Hasil pengujian penyerapan beton campuran LB 25%.
- Tabel 4.23 Hasil pengujian penyerapan beton campuran LB 35%.
- Tabel 4.24 Hasil nilai pengujian kuat tekan beton umur 14 hari.

Tabel 4.25 Hasil nilai pengujian kuat tekan beton umur 21 hari.

Tabel 4.27 Nilai sumbu x dan y pada regresi linear antara persentase substitusi agregat kasar dengan nilai kuat tekan umur 28 hari.

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1. Batas gradasi agregat kasar (SNI 03-2834, 2000).
- Gambar 2.2. Ilustrasi pengujian mesin kuat tekan beton.
- Gambar 3.1. Bagan alir metode penelitian.
- Gambar 3.2. Limbah beton dari *batching plant* PT. Rapi Arjasa.
- Gambar 3.3 Pelaksanaan peletakan agregat halus pada oven.
- Gambar 3.4 Limbah beton yang dipergunakan dalam penelitian.
- Gambar 3.5 Pembuatan beton yang sudah didalam cetakan silinder 15x30 cm.
- Gambar 3.6 Proses pengujian *slump test*.
- Gambar 3.7 Perawatan (*curing*) pada bak perendaman.
- Gambar 3.8 Pengujian kuat tekan (*compression test*).
- Gambar 3.9 Keterangan pengujian kuat tekan beton.
- Gambar 4.1 Grafik Gradasi Agregat Halus (Zona 2).
- Gambar 4.2 Grafik Gradasi Agregat Kasar.
- Gambar 4.3 Faktor Air Semen (ltr/kg semen) untuk berbagai jenis konstruksi.
- Gambar 4.4 Grafik Slump Test.
- Gambar 4.5 Grafik perbandingan rata-rata penyerapan air pada beton.
- Gambar 4.6 Grafik perbandingan rata-rata penyerapan air pada beton.
- Gambar 4.7 Grafik nilai kuat tekan beton pada umur 14 hari.
- Gambar 4.8 Grafik nilai kuat tekan beton pada umur 21 hari.
- Gambar 4.9 Grafik nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari.
- Gambar 4.10 Grafik regresi linear antara persentase substitusi agregat kasar
Dengan kuat tekan umur 28 hari.

DAFTAR NOTASI

$f'c$	= Kuat tekan beton (MPa)
$f'cr$	= Kuat tekan beton rata-rata yang di targetkan
P	= Beban maksimum (N)
FM	= Modulus Kehausan
A	= Luas penampang beton tertekan (mm^2)
PL	= Passing Ability ratio beton segar
PF	= Faktor kerapatan
$\frac{w}{c}$	= Faktor air semen rencana
A	= Luas penampang benda uji (mm^2)
Wg	= Jumlah agregat kasar (kg/m^3)
Wgl	= Berat isi agregat kasar (kg/m^3)
Ws	= Jumlah agregat halus (kg/m^3)
Wsl	= Berat isi agregat halus (kg/m^3)
C	= Jumlah semen (kg/m^3)
Wf	= Jumlah limbah beton dibutuhkan (kg/m^3)
Wwc	= Jumlah air yang dibutuhkan untuk semen (kg/m^3)
$\frac{a}{s}$	= Perbandingan agregat kasar dan agregat halus (%)
A%	= Persentase limbah beton yang digunakan (%)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dalam bidang konstruksi di Indonesia terus menerus mengalami peningkatan, hal ini tidak lepas dari tuntutan dan kebutuhan masyarakat terhadap fasilitas infrastruktur yang semakin maju, seperti jembatan, bangunan gedung bertingkat tinggi, dan fasilitas lainnya. Hal ini mendorong adanya kebutuhan akan teknologi konstruksi yang tepat guna baik secara teknis maupun jika ditinjau dari sisi ekonomis. Efek nya yaitu akan bertambah limbah beton dari hasil sampel pengujian beton konstruksi, mulai dari konstruksi jembatan maupun bangunan lainnya.

Limbah beton merupakan suatu material yang di mana sudah tidak dipergunakan lagi dan dibuang di sembarang tempat yang menyebabkan lingkungan menjadi tercemar. Pembuangan limbah padat seperti ini pada dasarnya dapat mengurangi kerusakan lingkungan jika dilakukan daur ulang atau mengolah limbah tersebut sebagai pengganti agregat.

Hal di atas menjadi dasar bahwa perlu dilakukannya sebuah penelitian dalam pengolahan limbah, terutama penulis tertarik untuk menggunakan daur ulang pada limbah beton yang sudah habis pakai, untuk dipergunakan kembali sebagai bahan campuran agregat kasar untuk pembuatan beton segar dengan mengklasifikasikan mutu yang bisa dicapai dari campuran limbah beton tersebut.

Penelitian ini mencoba menawarkan solusi alternatif dalam penggunaan limbah beton silinder dan penelitian yang akan penulis lakukan kedepannya terhadap substitusi agregat kasar yang menggunakan limbah beton silinder ini adalah melakukan pengujian kuat tekan beton, agar mengetahui mutu beton yang direncanakan apakah dapat tercapai, sehingga ketika pencapaian itu berhasil maka penelitian ini dapat ditindaklanjuti oleh siapa saja yang tertarik dengan gagasan yang penulis buat ini.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Apakah limbah beton dapat digunakan kembali pada bahan campuran pembuatan beton, tanpa harus menghilangkan sifat asli beton pada normalnya.
2. Bagaimana nilai kuat tekan yang dapat dicapai dari beton campuran dengan menggunakan substitusi limbah beton sebagai agregat kasar.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Pembatasan masalah dilakukan bertujuan untuk membatasi ruang lingkup pembahasan agar penelitian ini lebih terarah dimana hanya menggaris besarkan sesuai dengan hal yang sudah ditentukan. Pembatasan masalah meliputi :

1. Mutu beton yang direncanakan adalah $f'c$ 20 MPa.
2. Limbah beton yang digunakan dari hasil uji kuat tekan beton dengan sampel yang memiliki $f'c$ 20 Mpa pada *batching plant* PT. Rapi Arjasa, Jl. Megawati, Kota Binjai.
3. Benda uji (*sample*) yang digunakan adalah beton silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm.
 - a. Sampel beton normal
 - b. Sampel beton modifikasi
4. Perawatan beton dilakukan dengan cara perendaman dalam bak atau wadah yang berisi air.
5. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 14 hari, dan 21 hari untuk semua variasi model benda uji silinder.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui apakah penggunaan limbah beton dapat dipergunakan kembali pada campuran pembuatan beton.

2. Untuk mengetahui nilai kuat tekan beton yang menggunakan substitusi limbah beton sebagai agregat kasar.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini semoga menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya dengan suatu acuan bahwa penggunaan limbah beton yang berasal dari hasil uji kuat tekan dapat dipergunakan kembali sebagai komponen pembentuk beton dan patut dipertimbangkan untuk mendapatkan/merubah sifat dan mutu beton tertentu sesuai yang diinginkan.

1.6 Sistematika Penelitian

Untuk memudahkan pembahasan dalam penelitian ini, maka sistematika penulisan penelitian disusun dalam lima bab. Dengan sistematika penulisan penelitian sebagai berikut:

- BAB 1 : PENDAHULUAN**
Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.
- BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA**
Bab ini berisikan landasan teori yang merupakan tinjauan pustaka, menguraikan teori yang mendukung judul penelitian, dan mendasari pembahasan secara detail.
- BAB 3 : METODE PENELITIAN**
Menjelaskan rencana atau prosedur yang dilakukan penulis untuk memperoleh jawaban yang sesuai dengan kasus permasalahan.
- BAB 4 : ANALISIS DAN PEMBAHASAN**
Menguraikan hasil pembahasan analisis mengenai penelitian yang dilakukan.

BAB 5 : PENUTUP

Berisi kesimpulan sesuai dengan analisa terhadap penelitian dan beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut yang lebih baik dimasa yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.1 Rangkuman penelitian terdahulu

No	Judul Jurnal	Tahun	Nama Penulis	Pembahasan
1.	PENGARUH PENGUNAAN LIMBAH BETON SEBAGAI PENGANTI AGREGAT KASAR PADA BETON NORMAL TERHADAP KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS	2018	Soelarso, Baehaki, Nur Fatah Sidik	Peneliti membandingkan penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar sebesar 25%, 50%, 75% dan 100% dengan mutu rencana 25 MPa. Tujuan penelitian untuk mengetahui seberapa besar penurunannya dan proporsi manakah yang memiliki nilai kuat tekan optimum. Dari hasil data yang didapat maka rata-rata pencapaian kuat tekan pada umur 28 hari, yaitu pada 25% = 12,739 (N/mm^2), 50% = 11,189 (N/mm^2), 75% = 11,677(N/mm^2), dan 100% = 10,828(N/mm^2). Hasil perolehan beton campuran limbah beton masih dapat digunakan sebagai beton struktural seperti balok, kolom, pelat maupun pondasi karena memiliki nilai kuat tekan diantara 10 MPa sampai 20 MPa.

Tabel 2.1 Lanjutan

2.	<p>PENGARUH VARIASI GRADASI LIMBAH BETON SEBAGAI BAHAN PENGANTI AGREGAT TERHADAP KUAT TEKAN BETON</p>	2021	<p>Ardo Gabriel Purba, Christian Klose, Farah Aulia, Toni Pratama, Efendi Napitupulu, Enny Kristina Sinaga</p>	<p>Peneliti membuat benda uji dengan dua agregat yang berbeda yaitu agregat alami sebagai pembanding dan agregat dari limbah beton. Dalam penelitian ini agregat kasar (kerikil) yang di gunakan diganti dengan limbah beton yang di hancurkan dan dipakai ukuran 1 inc atau 2,54 cm dan ukuran 0,5 inc atau 1,25 cm, sedangkan untuk agregat halus (pasir) yang di gunakan diganti dengan limbah beton yang di haluskan dengan menggunakan golongan pasir kasar dan golongan pasir halus. Benda uji yang digunakan memiliki ukuran 75mm x 150mm dengan bentuk silinder sebanyak 10 benda uji. Untuk data hasil penelitian maka, diperoleh hasil penelitian pemakaian limbah beton sebagai pengganti agregat kasar dan halus terhadap kuat tekan beton, dapat di simpulkan bahwa pemakaian limbah beton pasir kasar mempunyai nilai tekan lebih baik, yaitu sebesar 15.377 Mpa di bandingkan dengan pemakaian limbah beton pasir halus yang sebesar 13.101 Mpa.</p>
----	---	------	---	---

Tabel 2.1 Lanjutan

3.	<p>Pemanfaatan Limbah Hasil Pengujian Beton Pada Proyek Bypass (Bil) Mandalika Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Beton Normal</p>	2023	Evrianti Syntia Dewi	<p>Peneliti memanfaatkan limbah beton hasil uji tekan pada pembangunan Bypass BIL Mandalika untuk menggantikan sebagian agregat kasar. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm digunakan sebagai sampel pengujian kuat tekan , dengan mutu beton rencana 30 MPa. Variasi persentase penggantian sebagian agregat kasar dengan limbah beton yang digunakan pada penelitian ini berturut-turut 15%, 20%, 25%, dan 30%. Standar tata cara pembuatan rencana campurn beton normal mengacu pada SNI 03-2834-2000. Dari hasil Hasil penelitian menunjukkan perbandingan nilai kuat tekan dari variasi campuran mengalami penurunan dari kuat tekan beton normal. Dimana hasil uji kuat tekan beton normal = 29,69 Mpa, sedangkan penggunaan limbah beton 15% di = 30,68 Mpa, limbah beton 20% = 31,29 MPa , limbah beton 25% = 28,75 MPa, dan pada limbah beton 30 % = 25,77 MPa. Hal ini menunjukan bahwa semakin banyak pemakaian limbah beton menurunkan kuat tekan beton.</p>
----	--	------	----------------------	---

2.2 Limbah Uji Beton

Menurut (Kusumawardhana, 2019), limbah beton banyak terdapat di beberapa laboratorium pengujian beton dan hasil pembongkaran struktur bangunan gedung bertingkat, hingga sekarang masih menumpuk dikarenakan sulitnya mencari lokasi pembuangannya. Salah satu cara mengurangi penumpukan limbah beton tersebut adalah dengan cara di daur ulang sebagai agregat kasar dari campuran material beton (Dewi 2023).

Penggunaan agregat daur ulang dapat membantu mengurangi sumber daya alam dan meminimalkan pembuangan limbah. Minimnya penggunaan agregat daur ulang beton dikarenakan limbah sampel beton mengandung mortar dari beton sebelumnya yang membuatnya memiliki pori-pori dan memiliki daya serap yang tinggi dibandingkan dengan agregat alami. Hal ini menyebabkan susut pengeringan dan rangkai beton meningkat secara signifikan dengan penggunaan agregat daur ulang (Andardi, dan Prasetyo 2022).

Penelitian limbah beton sebagai agregat kasar beton telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya, dimana limbah beton memiliki potensi sebagai agregat kasar campuran beton (Hamid et al., 2014; Mulyati & A, 2014; Salain et al., 2016; Soleha, 2016; Soelarso et al., 2018). Agar dapat dimanfaatkan sebagai agregat kasar, limbah beton harus dihancurkan menggunakan alat pemecah batu, sehingga diperoleh hasil pecahan limbah beton sesuai dengan ukuran agregat yang dibutuhkan. Secara fisik agregat kasar limbah beton menyerupai agregat kasar alam, namun memiliki perbedaan karakteristik (Dewi 2023).

Menurut (Soelarso, dkk. 2018), apabila dikaji sifat-sifat fisik beton hampir sama dengan sifat fisik batuan. Dari persamaan tersebut, bahan hasil dari pecahan beton silinder dicoba sebagai alternatif pengganti agregat kasar dalam pembuatan beton. Agregat daur ulang memiliki beberapa kualitas, sifat fisik dan kimia. Variabilitas kualitas ini mengakibatkan perbedaan sifat-sifat material beton yang dihasilkan, dari ciri-ciri limbah beton tersebut mampu memberikan keuntungan apabila diperlukan sebagai agregat dalam menggantikan sebagian agregat pembuatan beton (Grace, dkk, 2021).

2.3 Agregat Kasar

Menurut ASTM C 33-93 pengertian agregat kasar adalah batuan berupa kerikil, pecahan kerikil, batu pecah, terak tanur tiup atau kombinasi diantaranya sesuai dengan spesifikasi yang diijinkan. Ukuran-ukuran agregat kasar adalah semua butiran yang tertahan pada saringan di atas 4,76 mm. Agregat yang digunakan harus memenuhi ketentuan SII 0052-80 dan dalam hal-hal yang tercakup dalam peraturan tersebut juga harus memenuhi ketentuan ASTM. Sifat kekerasan agregat sangat diperlukan, karena pada waktu pembuatan beton akan mengalami gerakan-gerakan yang keras dalam *mixer* dan juga akan menerima gesekan pada saat pengecoran dan pemadatan. Agregat harus dapat menahan pengausan, pemecahan degradasi (penurunan mutu) serta disintegrasi (penguraian) (Diwa, dkk. 2022).

Agregat kasar berupa pecahan batu, pecahan kerikil atau kerikil alami dengan ukuran butiran minimal 15 mm dan ukuran butiran maksimal 40 mm. Ukuran maksimal dari beton bertulang diatur berdasarkan kebutuhan agregat tersebut harus dengan mudah dapat mengisi cetakan dan lolos dari celah-celah yang terdapat diantara batang-batang baja tulangan (Sulianti 2018).

Dalam kuat tarik Agregat kasar berfungsi sebagai pengisi volume rongga yang berkurang. Agregat kasar sangat penting dalam pencampuran beton karena menghasilkan beton yang padat sehingga membuat beton kuat terhadap pembebanan. Pemilihan batas gradasi kerikil atau koral diameter maksimum 37,5 mm sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Agregat kasar merupakan agregat yang semua butirannya tertinggal di atas ayakan 4,75 mm (SNI 03-2834 2000), yang biasanya disebut kerikil. Material ini merupakan hasil disintegrasi alami batuan atau hasil dari industri pemecah batu. Butir-butir agregat harus bersifat kekal, artinya tidak pecah maupun hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari atau hujan (Harahap 2019).

Besar ukuran maksimum agregat mempengaruhi kuat tekan betonnya. Pada pemakaian ukuran butir agregat maksimum lebih besar memerlukan jumlah pasta semen lebih sedikit untuk mengisi rongga-rongga butirannya.

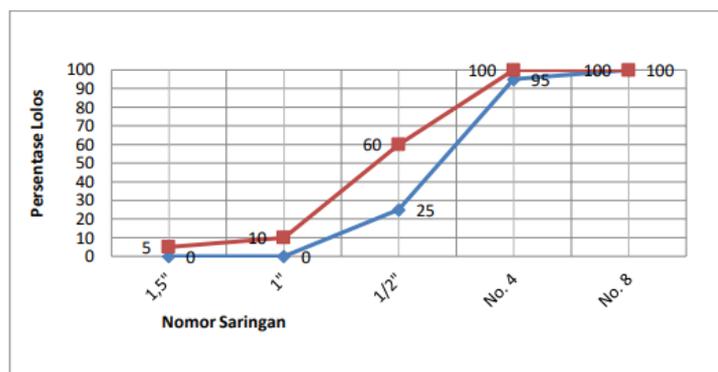
Menurut (SNI 03-2834 2000), agregat kasar untuk beton harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% terhadap berat kering. Apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.
2. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat reaktif alkali.
3. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan ayakan harus memenuhi syarat-syarat:
 - a. Sisa di atas ayakan 31,5 mm lebih kurang 0% berat total.
 - b. Sisa di atas ayakan 4 mm lebih kurang 90% - 98% berat total.
 - c. Selisih antara sisa-sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan adalah maksimum 60% berat total, minimum 10% berat total.

Menurut (SNI 03-2834 2000) batas gradasi agregat kasar dengan diameter agregat maksimum 37,5 mm dapat dilihat dalam Tabel 2.1 dan dijelaskan melalui Gambar 2.1.

Tabel 2.2 Batas gradasi agregat kasar (SNI 03-2834, 2000).

Lubang ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan	
	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
2,36 (No.8)	100	100



Gambar 2.1 Batas gradasi agregat kasar (SNI 03-2834, 2000).

Pemeriksaan material agregat kasar ini sesuai dengan standar (SNI 03-2834-2000), agregat kasar diteliti terhadap:

1. Modulus kehalusan.
2. Berat jenis.
3. Penyerapan (Absorpsi)
4. Kadar air.
5. Kadar lumpur.
6. Berat isi.
7. Keausan agregat

2.4 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan pada beton adalah salah satu dari kinerja utama pada beton. Dimana kuat tekan ini merupakan kemampuan beton dalam menahan gaya tekan pada tiap satuan luas. Pada saat menerima beban tekan, bagian dalam beton memiliki tegangan tarik yang kecil, namun diabaikan sehingga diasumsikan semua tegangan tekan ditahan oleh beton. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh berbagai faktor susunan campuran, keadaan temperatur dari tempat perawatannya hingga mengeras (Mukhlis and Bunyamin 2020).

Pengujian kuat tekan merupakan pemberian beban monoton secara terus menerus dengan laju yang konstan pada benda uji di antara dua batang pembebanan yang akan menciptakan tegangan tekan. Pada pengujian kuat tekan posisi benda uji yang berbentuk silinder pada saat dibebani yaitu dalam keadaan berdiri/tegak. Sehingga, kuat tekan adalah tegangan tekan pada pembebanan maksimum yang menyebabkan benda uji mengalami keruntuhan (Kaselle dan Allo 2021).

Kekuatan tekan beton atau *compressive strength* merupakan salah satu sifat atau karakteristik yang paling penting dari beton yang ingin dicapai pada perencanaan campuran beton. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat umur beton mencapai 7, 14, 21, dan 28 hari. Kekuatan tekan beton yang umum digunakan untuk struktur beton bertulang berkisar antara 17 Mpa sampai dengan 30 Mpa, dan untuk struktur beton prategang berkisar antara 30 Mpa sampai dengan 45 Mpa (M Ade, Dermina Damanik, dkk. 2023).

Kuat tekan beton didapat melalui pengujian kuat tekan dengan memakai alat uji tekan (*compressive strength machine*) yang proses penerimaan beban tekan

terlihat pada Gambar 2.2. Acuan yang dipakai untuk pengujian kuat tekan adalah SNI 1974-2011 tentang “Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder”. Pemberian beban tekan dilakukan bertahap dengan kecepatan beban tertentu atas uji beton. Besarnya kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus: (Slat, Marselino, dkk. 2022)

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dengan :

$f'c$ = Kuat tekan benda uji beton (MPa)

P = Besar beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

Umur beton pada 28 Hari menggunakan rumus untuk mendapatkan estimasi kuat tekan beton dengan menggunakan interpolasi pada kuat tekan beton umur 7 hari, 14 hari, dan 21 hari. Perhitungan konversi umur beton dilakukan dengan mengalikan angka konversi yang sudah dikeluarkan oleh SNI. Berikut ini adalah tabel angka konversi beton.

Tabel 2.3 Angka konversi pada umur beton

Umur Beton (Hari)	Angka Konversi
3	0,46
7	0,70
14	0,88
21	0,96
28	1,00

$$f'c = (kN \times 101,9716) : (3,14 \times (D/2)^2) \quad (2)$$

$$f'c = (Kgf/cm^2 \times 0,0980665) : \text{Angka konfersi umur beton} \quad (3)$$

Dengan :

$f'c$ = Kuat tekan benda uji beton (MPa)

kN = Besar besar maksimum

1 kN = 101,9716 Kgf

D = Dimensi Silinder

1 Kgf/cm² = 0,0980665 MPa

2.5 Persamaan Regresi Linear Sederhana

Analisis regresi linear sederhana adalah sebuah metode pendekatan untuk pemodelan hubungan antara satu variabel dependen dan satu variabel independen. Dalam regresi, variabel independen menerangkan variabel dependennya. Dalam analisis regresi sederhana, hubungan antar variabel bersifat linear, dimana perubahan pada variabel X akan diikuti oleh perubahan Variabel Y secara tetap. Sementara pada hubungan non linear, perubahan variabel X tidak diikuti variabel Y secara proposional (Sebayang 2022).

$$Y = a + bx \quad (4)$$

Dengan :

Y = Variabel independen

a = Konstanta

b = Koefisien regresi

Komponen pada Linear Regresi ada tiga yaitu a sebagai *intersept*, b sebagai *slope* dan x sebagai indeks waktu. Persamaan untuk mendapatkan nilai a dan b adalah:

$$a = \frac{\sum Y - b \cdot \sum X}{n} \quad (5)$$

$$b = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n (\sum X^2) - (\sum Y)^2} \quad (6)$$

Langkah-langkah metode yang disusulkan berdasarkan Linear Regresi sebagai berikut:

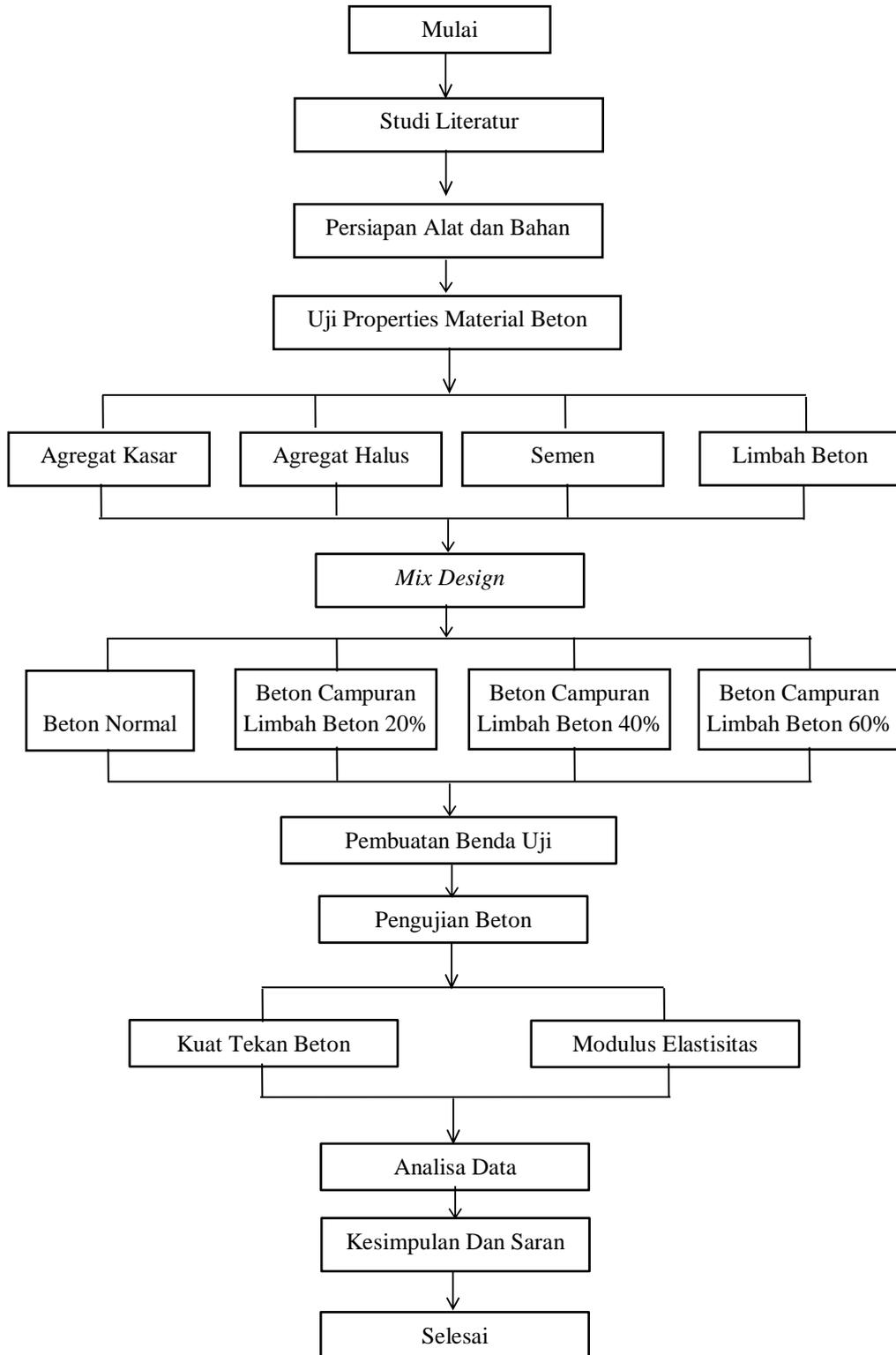
1. Pembuatan data set.
2. Pembentukan model linier regresi.

Langkah pembentukan model sebagai berikut:

- a. Langkah 1: Hitung x^2 , y^2 , xy dan total dari masing-masingnya.
- b. Langkah 2: Hitung a dengan menggunakan persamaan (5) dan b menggunakan persamaan (6).
- c. Langkah 3: Buat model persamaan linier regresi sederhana.
- d. Langkah 4: Lakukan prediksi atau peramalan terhadap variabel faktor penyebab atau variabel akibat.

BAB 3

METODE PENELITIAN



Gambar 3.1. Bagan alir metode penelitian.

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang penulis gunakan dalam pembuatan beton dengan memanfaatkan limbah uji beton silender sebagai bahan substitusi agregat kasar adalah dengan metode *experiment*, yaitu metode yang dilakukan dengan kegiatan percobaan untuk mendapatkan data.

3.2 Tahapan Penelitian

Bagan alir penelitian ini adalah suatu cara pembuatan campuran beton yang memiliki beberapa proses untuk mendapatkan setiap hasil penelitian yang dimana hal ini dilakukan sesuai dengan standar yang telah ditentukan.

1. Persiapan.

Dalam hal ini menyiapkan material yang digunakan seperti (Agregat Kasar, Agregat Halus, Semen, Limbah Uji Beton Silinder, dan Air). Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik PT. Rapi Arjasa.

2. Pemeriksaan Bahan Material Penyusun Beton.

Pemeriksaan bahan material ini ditujukan untuk memastikan apakah bahan penyusun beton telah memenuhi persyaratan yang telah ditentukan, apabila digunakan dalam pencampuran (*mix design*).

3. Pengujian Dasar Material

Pengujian dasar dilakukan pada sampel agregat kasar, agregat halus, dan limbah beton. Pengujian ini berupa pemeriksaan berat jenis dan penyerapan, kadar air, kadar lumpur, dan berat isi.

4. Perencanaan Campuran

Perencanaan campuran (*mix design*) dilakukan mengacu pada metode *American Concrete Institute* (ACI). Perencanaan yang dilakukan berdasarkan hasil pemeriksaan dari masing-masing bahan sebelumnya untuk merencanakan pencampuran beton, mulai dari semen, agregat halus, agregat kasar, dan air. Hasil dari *mix design* ini berupa perbandingan antara bahan-bahan penyusun beton yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pembuatan benda uji.

5. Pembuatan Benda Uji

Pada tahapan ini dilakukan pekerjaan-pekerjaan sebagai berikut:

- a. Pembuatan adukan beton.
- b. Pengujian slump test yang mengacu pada SNI 1972:2008.
- c. Pengecoran ke dalam cetakan silinder.
- d. Pelepasan benda uji dari cetakan silinder.

6. Perawatan Benda Uji

Pada bagian ini beton yang sudah didiamkan di cetakan dan sudah mengering, beton tersebut diangkat dari cetakan lalu dilakukan perawatan beton (*curing*). Perawatan tersebut dilakukan dengan perendaman beton pada bak perendam yang memiliki estimasi waktu 14 hari dan 21 hari. Setelah selesai perawatan tersebut, beton dikeluarkan dari bak dan dikeringkan.

7. Pengujian Kuat Tekan Beton

Setelah semua prosedur pembuatan beton, kemudian dilakukan uji kuat tekan beton yang berfungsi untuk mengetahui berapa besar ketahanan beton setelah diberi beban-beban tertentu. Analisis Data dan Pembahasan

8. Pembahasan dan Laporan Akhir

Dengan diketahuinya nilai kuat tekan beton, maka telah selesai semua rangkaian dalam proses pembuatan beton. Hal yang dilakukan pada tahap akhir adalah mencatat, mengolah, dan mengevaluasi data yang telah didapatkan. Lalu selanjutnya melakukan penulisan dan bimbingan untuk laporan akhir tersebut.

3.3 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik PT. Rapi Arjasa, Jl. Megawati, Kota Binjai. Waktu penelitian yang dilakukan direncanakan kurang lebih selama 2 bulan dan dimulai pada akhir bulan Juli 2023.

3.4 Sumber dan Teknik Pengambilan Data

3.4.1 Data Primer

Data yang diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium teknik, yaitu:

1. Analisa saringan agregat (ASTM – C.33).
2. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar (SNI 03-1969/1970-1990/ ASTM C.127/128, 1993).
3. Berat jenis dan penyerapan agregat halus (SNI 03-1969/1970-1990/ ASTM C.127/128, 1993).
4. Pengujian berat isi agregat kasar (SNI 03-4804, 1998/ ASTM C.29, 1995).
5. Pengujian berat isi agregat halus (SNI 03-4804, 1998/ ASTM C.29, 1995).
6. Pengujian kadar air agregat kasar (SNI 03-1971-1990/ ASTM C.566, 1995).
7. Pengujian kadar air agregat halus (SNI 03-1971-1990/ ASTM C.566, 1995).
8. Pengujian kadar lumpur agregat halus (SNI S-04, 1989-F).
9. Perencanaan campuran beton (*Mix Design*) mengacu pada ACI.
10. Pembuatan dan perawatan benda uji beton (SNI 2493, 2011).
11. Uji kuat tekan beton (SNI 1974:2011).

3.4.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari beberapa buku dan jurnal yang berhubungan dengan teknik beton dan bimbingan langsung oleh dosen pembimbing di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Data yang digunakan yaitu :

1. Peraturan ACI 211.1-91 tentang tata cara pembuatan rencana beton normal.
2. Peraturan SNI 1974:2011 tentang metode uji kuat tekan beton silinder.

3.5 Alat dan Bahan

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang maksimal, maka diperlukan peralatan dan bahan yang sudah tersedia di laboratorium teknik PT. Rapi Arjasa. Alat-alat yang digunakan sebagai berikut:

3.5.1 Alat

1. Satu set saringan untuk agregat halus, meliputi: No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100, Pan. Saringan ini digunakan untuk memeriksa gradasi agregat halus yang akan digunakan.
2. Timbangan digital, berfungsi sebagai alat untuk menimbang berat pada bahan yang digunakan secara akurat.
3. Gelas ukur, digunakan sebagai takaran air, *admixtures* yang digunakan dalam pengerjaan beton *self compacting concrete*.
4. *Stopwatch*, berfungsi sebagai alat mengukur waktu pengujian.
5. Piknometer, berfungsi sebagai alat melakukan pengujian berat jenis dan penyerapan pada pasir.
6. Oven, berfungsi sebagai alat mengeringkan sampel bahan.
7. Wadah atau ember, berfungsi sebagai tempat air perendaman sampel.
8. Plastik ukuran 10 kg, berfungsi sebagai wadah bahan yang telah siap untuk di *mixer*.
9. Pan, berfungsi sebagai alat untuk alas pengaduk beton segar.
10. Skop tangan dan alat cetok, berfungsi sebagai alat pencampur beton, 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 flow test*, yang terdiri dari tadi: kerucut *abrams*, penggaris, dan plat.
15. Mesin pengaduk (*mixer*), berfungsi sebagai alat pencampur semua bahan hingga membentuk adonan beton.
16. Bak perendaman, berfungsi untuk merendam beton yang telah dilepaskan dari cetakan.
17. Mesin uji tekan beton (*compression test machine*), berfungsi untuk mengukur kuat tekan beton.

3.5.2 Bahan

Adapun bahan tambahan pada pembuatan beton penelitian ini sebagai berikut:

1. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu kerikil yang diperoleh dari PT. Rapi Arjasa, Jl. Megawati, Kota Binjai dengan ukuran maksimum 19 mm.

2. Agregat Halus

Agregat Halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir alam binjai yang diperoleh dari PT. Rapi Arjasa, Jl. Megawati, Kota Binjai.

3. Limbah Beton

Limbah beton diperoleh dari hasil uji kuat tekan beton pada batching plant perusahaan PT. Rapi Arjasa, Jl. Megawati, Kota Binjai.



Gambar 3.2 Limbah beton dari *batching plant* PT. Rapi Arjasa

4. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari laboratorium teknik PT. Rapi Arjasa yang layak minum dan sesuai dengan syarat-syarat penggunaan air pada beton.

3.5.3 Jumlah Benda Uji

Benda uji dibuat menggunakan cetakan berbentuk silinder dengan diameter tinggi 30 cm, lebar 15 cm yang berjumlah 16 buah. Untuk pengujian kuat tekan. Jumlah benda uji dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Jumlah benda uji beton normal dan beton modifikasi.

No.	Variasi Campuran Beton	Jumlah Benda Uji (Silinder) 14 Hari	Jumlah Benda Uji (Silinder) 21 Hari
1	Beton Normal	2 Benda Uji	2 Benda Uji
2	Beton Campuran LB 15%	2 Benda Uji	2 Benda Uji
3	Beton Campuran LB 25%	2 Benda Uji	2 Benda Uji
4	Beton Campuran LB 35%	2 Benda Uji	2 Benda Uji
Total Benda Uji		16 Benda Uji	

3.6 Langkah-langkah Pemeriksaan Agregat

Setelah seluruh material yang dipersiapkan telah ada dilokasi, maka material dipisahkan menurut jenisnya agar mempermudah dalam tahapan-tahapan penelitian dan juga agar material tidak tercampur dengan bahan-bahan yang lain sehingga mempengaruhi kualitas material. Material dibersihkan dari lumpur kemudian melakukan penjemuran pada material yang basah.

3.6.1 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Berat jenis dapat dinyatakan dengan berat jenis curah kering, berat jenis curah pada kondisi jenuh kering permukaan atau berat jenis semu. Berat jenis (jenuh kering permukaan) dan penyerapan air berdasarkan pada kondisi setelah (24+4) jam direndam di dalam air.

Adapun prosedur pengujian agregat kasar sebagai berikut:

1. Pertama-tama benda uji dicuci untuk menghilangkan lumpur atau bahan bahan lain yang melekat pada permukaan.
2. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu 105 °C sampai berat tetap.

3. Keluarkan benda uji dari oven, lalu benda uji didinginkan pada suhu kamar selama 1 - 3 jam.
4. Kemudian benda uji ditimbang dengan ketelitian 0,5 gr (Bk). Selanjutnya merendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 ± 4 jam.
5. Setelah direndam, benda uji dikeluarkan dari air, lalu dilap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang (jenuh permukaan kering/SSD). Untuk butir yang besar pengeringan harus satu persatu.
6. Kemudian timbang benda uji dalam keadaan jenuh (BJ SSD).
7. Benda uji diletakan didalam keranjang, lalu benda uji di guncangkan dengan mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air (Ba). Suhu air diukur untuk menyesuaikan perhitungan kepada suhu standar 25°C

3.6.2 Analisa Gradasi Agregat

Analisa gradasi agregat adalah suatu hal pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan.

Adapun prosedur pengujian gradasi agregat sebagai berikut:

1. Benda uji dikeringkan di dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, sampai berat tetap.
2. Timbang benda uji sesuai dengan berat yang disyaratkan. Lalu susun saringan, dengan menempatkan saringan paling besar di bagian atas. Lalu pan diletakan pada bagian bawah. Kemudian agregat dimasukkan dari bagian atas, lalu bagian atas saringan ditutup dengan penutup saringan. Pengayakan dilakukan dengan menggunakan mesin pengayak selama 15 menit agar hasil ayakan terpisah merata.
3. Kemudian berat agregat yang terdapat pada masing-masing saringan ditimbang.

3.6.3 Kadar Lumpur Agregat Halus

Metode pengujian gumpalan gelembung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam pelaksanaan pengujian untuk menentukan gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat.

Prosedur pengujian kadar lumpur agregat sebagai berikut:

1. Benda uji dimasukkan dengan berat 500 gram, kemudian ditimbang (W1).
2. Lalu benda uji dimasukkan ke dalam wadah, dan diberi air pencuci secukupnya sehingga benda uji terendam.
3. Wadah diguncang – guncangkan hingga kotoran – kotoran pada benda uji hilang dan diulangi pekerjaan di atas sampai air cucian menjadi bersih.
4. Kemudian semua bahan dikembalikan ke dalam wadah, lalu seluruh bahan tersebut dimasukkan ke dalam talam yang telah diketahui beratnya (W2).
5. Lalu benda uji dikeringkan dalam oven sampai berat tetap.
6. Setelah kering ditimbang dan dicatat beratnya (W3).
7. Kemudian dihitung berat bahan kering ($W4 = W3 - W2$).

3.6.4 Berat Isi Agregat

Penentuan berat isi dari campuran beton dan beberapa formula untuk menghitung volume produksi campuran, kadar semen, dan kadar udara dalam beton.

Prosedur percobaan berat isi agregat sebagai berikut:

1. Langkah pertama adalah silinder ditimbang kosong dan dicatat beratnya (W1).
2. Kemudian benda uji dimasukkan dengan hati – hati supaya tidak terjadi pemisahan butiran, dari ketinggian maksimum 5 cm di atas silinder dengan menggunakan sekop sampai penuh.
3. Lalu benda uji diratakan permukaannya dengan menggunakan mistar perata.
4. Kemudian silinder serta isinya ditimbang lalu dicatat (W2).
5. Selanjutnya dihitung berat benda uji ($W3 = W2 - W1$).

3.6.5 Kadar Air Agregat

Cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan ini mencakup penentuan persentase air yang dapat menguap dari dalam contoh agregat dengan cara pengeringan.

Prosedur percobaan kadar air agregat sebagai berikut:

1. Timbang berat kosong dan catat (W_1).
2. Kemudian benda uji dimasukkan kedalam talam lalu ditimbang dan dicatat beratnya (W_2).
3. Lalu dihitung berat benda ujinya ($W_3 = W_2 - W_1$).
4. Setelah itu benda uji dikeringkan beserta talam di dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, sampai berat tetap.
5. Setelah kering, ditimbang dan dicatat berat benda uji beserta talam (W_4).
6. Lalu dihitung berat benda uji kering ($W_5 = W_4 - W_1$).



Gambar 3.3 Pelaksanaan peletakan agregat halus pada oven

3.7 Limbah Uji Beton Silinder

Limbah beton banyak terdapat di beberapa laboratorium pengujian beton, terkadang sudah menumpuk karena sulitnya mencari lokasi sebagai tempat pembuangannya. Hal ini akan berdampak buruk terhadap pelestarian lingkungan. Proses daur ulang merupakan salah satu cara untuk mengatasi permasalahan limbah beton. Pada penelitian ini, limbah beton yang akan digunakan adalah limbah uji kuat tekan beton silinder dengan mutu $f'c$ 20 dari Laboratorium *batching plant* PT. Rapi Arjasa, Jl. Megawati, Kota Binjai.



Gambar 3.4 Limbah uji beton silinder yang dipergunakan dalam penelitian.

3.8 Mix Design

Hal ini menentukan persentase atau komposisi masing-masing komponen material pembentuk beton untuk memperoleh suatu campuran beton yang memenuhi kekuatan dan keawetan yang direncanakan.

Tahapan mix design beton menurut *American Concrete Institutemen* (ACI) adalah sebagai berikut:

1. Rencanakan kuat tekan yang dikehendaki.
2. Tetapkan faktor air semen berdasarkan kuat tekan rata-rata pada umur yang dikehendaki dan keawetannya (berdasarkan jenis struktur dan kondisi lingkungan).

3. Berdasarkan jenis strukturnya, tetapkan nilai slump dan ukuran maksimum agregatnya. Slump yang dianjurkan pada jenis pekerjaan berkisar antara 75 mm - 150 mm.
4. Tetapkan jumlah air yang diperlukan, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump yang diinginkan.
5. Hitungan semen yang diperlukan, berdasarkan langkah (2) dan (4) di atas.
6. Tetapkan volume agregat kasar yang diperlukan per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai modulus kehalusan agregat halus.
7. Hitung volume agregat halus yang diperlukan, berdasarkan jumlah air, semen dan agregat kasar yang diperlukan serta udara yang terperangkap dalam adukan (metode volume). Bisa juga dengan menggunakan metode berat.

3.9 Pembuatan Benda Uji

Benda uji dibuat dengan menggunakan cetakan silinder dengan ukuran diameter 15 cm, tinggi 30 cm. Yang berjumlah 16 buah, untuk pengujian kuat tekan. Dalam proses pembuatan benda uji, dilakukan beberapa tahapan yang dilakukan. Tahapan tersebut adalah:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan dalam proses pembuatan benda uji.
2. Menimbang satu persatu bahan sesuai dengan yang telah ditentukan.
3. Membersihkan cetakan dengan menggunakan sekrap dan kain lap, lalu mengolesinya dengan *vaseline* secukupnya.
4. Menghidupkan mesin pengaduk (*mixer*).
5. Masukkan bahan dimulai dari agregat kasar, agregat halus, dan semen.
6. Setelah tercampur rata masukkan limbah beton lalu diaduk hingga merata.
7. Masukkan air kedalam mesin pengaduk sesuai ukuran takaran yang digunakan.
8. Memeriksa *slump flow* pada beton.
9. Memasukkan campuran beton kedalam cetakan hingga penuh.
10. Meratakan permukaan pada cetakan dengan menggunakan sendok semen.

11. Mendingkan beton selama 24 jam hingga beton mengeras dengan sempurna.
12. Setelah kering, buka cetakan beton dan rawat beton (*curing*) dengan memasukkan beton ke dalam bak perendam selama 14 hari dan 21 hari.
13. Setelah direndam selama 14 hari dan 21 hari, angkat beton dan keringkan.
14. Melakukan uji kuat tekan beton.



Gambar 3.5 Pembuatan beton yang sudah didalam cetakan silinder 15x30 cm

3.10 Pemeriksaan *Slump Test*

Tahapan pengujian *slump test*:

1. Membasahi kerucut Abrams dan plat sebesar 1m x 1m.
2. Angkat dan letakan plat pada bidang yang datar dan letakkan kerucut Abrams secara terbalik tepat di tengah plat.
3. Tuangkan campuran beton kedalam kerucut Abrams hingga penuh lalu ratakan menggunakan skrap dan diamkan selama 1 menit. Angkat kerucut Abrams secara tegak lurus secara perlahan-lahan sambil menghitung waktu persebaran adukan menggunakan stopwatch.
4. Mencatat waktu saat sebaran adukan mencapai ukuran diameter 50 cm dan hentikan stopwatch saat sebaran adukan berhenti serta mencatat waktunya.
5. Kemudian ukur lebar sebaran adukan beton menggunakan penggaris secara vertikal dan horizontal.
6. Besar diameter sebaran adukan menunjukkan tingkat kekentalan adukan tersebut, semakin besar diameter yang didapat maka semakin encer pula adukan tersebut.



Gambar 3.6 Proses pengujian *slump test*

3.11 Perawatan (*Curing*) Benda Uji

Proses perawatan (*curing*) untuk benda uji pada penelitian ini berdasarkan ketentuan SNI 2493, 2011. Proses ini dilakukan dengan tahapan cara perendaman benda uji kedalam bak perendam berisi air. Benda uji direndam setelah mencapai umur rencana (14 hari dan 21 hari). Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses perendaman benda uji ini adalah sebagai berikut:

1. Mengeluarkan benda uji dari cetakan.
2. Pastikan benda uji tersebut sudah kering dengan sempurna.
3. Isi bak perendam dengan air bersih dari kran air Laboratorium PT. Rapi Arjasa
4. Masukkan benda uji secara hati-hati ke dalam bak perendam.
5. Diamkan rendaman benda uji tersebut pada umur 13 hari dan 20 hari, lalu angkat pada umur 14 hari dan 21 hari.
6. Tunggu benda uji mengering dan timbang benda uji tersebut.



Gambar 3.7 Perawatan (*curing*) pada bak perendaman

3.12 Kuat Tekan Beton

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

Nilai kuat tekan beton didapatkan dari hasil pengujian sampel beton. Sampel ini diuji dengan menggunakan mesin kuat tekan beton dengan cara memberikan beban secara bertahap dengan kecepatan peningkatan beban tertentu. Selanjutnya benda uji tersebut ditekan hingga menghasilkan retakan (*crack*), standar pengujian kuat tekan beton menggunakan metode SNI 03-1974-2011.

Adapun langkah langkah pengujian kuat tekan beton adalah sebagai berikut:

1. Sebelum dilakukan pengujian dibuat catatan benda uji, baik nomor benda uji, tanggal pembuatan benda uji dan tanggal pengujian.
2. Melapisi permukaan benda uji dengan pelat baja agar permukaan yang ditekan rata, dan usahakan benda uji berada dalam keadaan sentris.
3. Jalankan mesin press dengan kecepatan dan penambahan beban yang konstan, kemudian catat besarnya beban maksimum yang dapat diterima pada masing masing benda uji.



Gambar 3.8 Pengujian kuat tekan (*compression test*)

Acuan yang dipakai untuk pengujian kuat tekan adalah SNI 1974-2011 tentang “Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder”. Pemberian beban tekan dilakukan bertahap dengan kecepatan beban tertentu atas uji beton. Besarnya kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dengan :

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

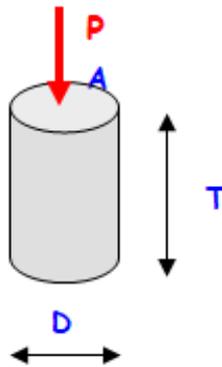
P = Besar beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

1 KN = 101,9716 kgf

1 MPa = 9,807966 kgf/cm^2

1 kgf/cm^2 = 0,0980665 MPa



Gambar 3.9 Keterangan pengujian kuat tekan beton.

BAB 4

PEMBAHASAN DAN HASIL

4.1 Hasil dan Data Analisa Pemeriksaan Material Agregat

Lampiran hasil data-data pengujian bahan agregat, sehingga diperoleh untuk campuran material dalam pembuatan beton yang direncanakan. Setelah melakukan pengujian dasar maka nilai-nilai dari data yang dihasilkan dilampirkan di tabel 4.1, sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data-data dasar dari hasil pengujian agregat.

No	Data Tes Dasar	Nilai
1	Berat jenis agregat kasar	2,461 gr/cm ³
2	Berat jenis agregat halus	2,630 gr/cm ³
3	Kadar lumpur agregat kasar	0,4 %
4	Kadar lumpur agregat halus	2,8 %
5	Berat isi agregat kasar	1,77 gr/cm ³
6	Berat isi agregat halus	1,63 gr/cm ³
7	FM agregat kasar	2,68
8	FM agregat halus	2,88
9	Kadar air agregat kasar	0,7 %
10	Kadar air agregat halus	1,46 %
11	Penyerapan agregat kasar	0,30 %
12	Penyerapan agregat halus	2,67 %
13	Nilai slump rencana	75-150 mm
14	Ukuran agregat maksimum	19 mm

4.2 Agregat Halus

Penggunaan material agregat halus dalam penelitian ini menggunakan pasir alam yang diperoleh dari Binjai. Pada agregat halus dilakukan pemeriksaan bahan yang meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan, analisa gradasi, kadar lumpur, berat isi dan kadar air.

4.2.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Tabel 4.2 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus.

<i>FINE AGGREGATE</i> (Agregat Halus) Passing No.4 (Lolos Ayakan No.4)	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Rata-rata (gr)
<i>Wt. Of SSD Sample in Air</i> (Berat contoh (SSD)kering permukaan jenuh) (B)	500	500	500
<i>Wt. Of Flask + Water</i> (Berat Piknometer penuh air) (D)	672	673	672,5
<i>Wt. Of Flask + Water + Sample</i> (Berat contoh SSD di dalam piknometer penuh air) C	980,8	967,2	974
<i>Wt. Of Oven Dry Sample</i> (Berat contoh kering oven (110o C) Sampai Konstan) E	486	488	487
<i>Bulk Sp. Gravity-SSD</i> (Berat jenis contoh SSD) $B / (B + D - C)$	2,62	2,43	2,52
<i>Bulk Sp. Gravity-Dry</i> (Berat jenis contoh kering) $E / (B + D - C)$	2,54	2,37	2,46
<i>Apparent Sp. Gravity-Dry</i> (Berat jenis contoh semu) $E / (E + D - C)$	2,74	2,52	2,63
<i>Absorption</i> $[(B - E) / E] \times 100\%$ (%)	2,88	2,46	2,67

Dari hasil uji berat jenis didapat Berat jenis kering rata-rata sebesar 2,46 dan diklasifikasikan sebagai agregat normal karena nilainya masih dalam batas yang diijinkan yaitu antara 2,2 – 2,7. Penyerapan air (*absorption*) yang didapat dari hasil pengujian yaitu 2,67%. Angka tersebut menunjukkan kemampuan agregat dalam menyerap air dari keadaan kering mutlak sampai jenuh kering maka sebesar 2,67% dari berat kering agregat tersebut.

4.2.2 Analisa Gradasi Agregat Halus

Tabel 4.3 Data pengujian analisa gradasi agregat halus dengan batas Zona 2.

Ukuran Ayakan	Retained Fraction			Berat Tertahan	Cumulative		Batas Zona	
	Sampel 1	Sampel 2	Total Weight		Kumulatif Berat Tertahan	Berat yang Lolos		
(mm)	(Gram)	(Gram)	(Gram)	(%)	(%)	(%)	Min	Max
9,50	0,00	0,00	0	0	0	100	100	100
4,75	0,00	0,00	0	0	0	100	95	100
2,36	146,6	126,60	273,2	15,77	15,77	84,23	80	100
1,18	199,2	184	383,2	22,13	37,9	62,10	50	85
0,60	186,9	165,4	352,3	20,34	58,24	41,76	25	60
0,30	192,4	180,4	372,8	21,53	79,77	20,23	5	30
0,15	152,8	141,6	294,4	17	96,77	3,23	0	10
0,075	30,37	25,6	55,97	3,23	100	0,00	0	0
Jumlah	908,27	823,6	1731,87					
FM	2,88							

- Persentase berat tertahan rata-rata:

$$\text{No.4 (4,75)} = \frac{0}{1731,87} \times 100\% = 0\%$$

$$\text{No.8 (2,36)} = \frac{273,2}{1731,87} \times 100\% = 15,77\%$$

$$\text{No.16 (1,18)} = \frac{383,2}{1731,87} \times 100\% = 22,13\%$$

$$\text{No.30 (0,60)} = \frac{352,3}{1731,87} \times 100\% = 20,34\%$$

$$\text{No.50 (0,30)} = \frac{372,8}{1731,87} \times 100\% = 21,53\%$$

$$\text{No.100 (0,15)} = \frac{294,4}{1731,87} \times 100\% = 17\%$$

$$\text{No.200 (0,075)} = \frac{55,97}{1731,87} \times 100\% = 3,23\%$$

- Persentase berat kumulatif tertahan:

$$\text{No.4 (4,75)} = 0 + 0 = 0\%$$

$$\text{No.8 (2,36)} = 0 + 15,77 = 15,77\%$$

$$\text{No.16 (1,18)} = 15,77 + 22,13 = 37,9\%$$

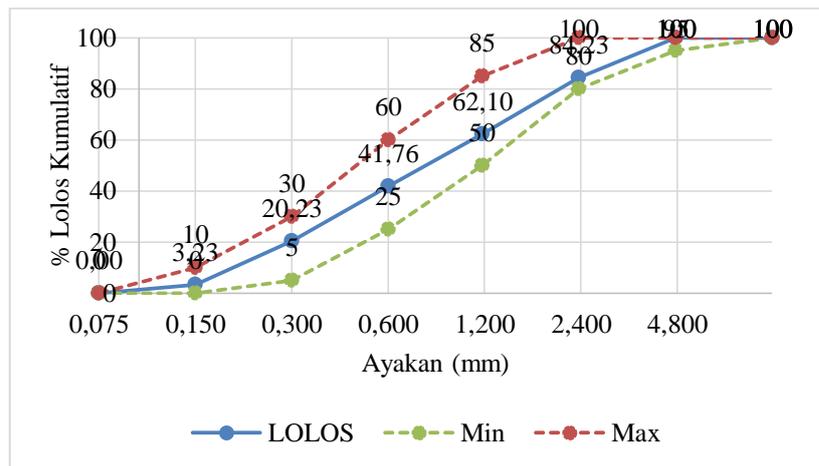
$$\text{No.30 (0,60)} = 37,9 + 20,34 = 58,24\%$$

$$\text{No.50 (0,30)} = 58,24 + 21,53 = 79,77\%$$

$$\text{No.100 (0,15)} = 79,77 + 17 = 96,77\%$$

$$\text{No.200 (0,075)} = 96,77 + 3,23 = 100\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah persentase kumulatif tertahan} &= 288,45\% \\
 \text{FM (Modulus Kehausan)} &= \frac{\text{Jumlah \% kumulatif tertahan}}{100} \\
 &= \frac{288,45}{100} \\
 &= 2,88
 \end{aligned}$$



Gambar 4.1 Grafik Gradasi Agregat Halus (Zona 2).

Dari hasil pemeriksaan analisa saringan agregat halus pada percobaan ini didapat FM sebesar 2,88%. Nilai tersebut masih diijinkan untuk termasuk sebagai agregat halus, dimana nilai yang diijinkan adalah 1,5% - 3,8% berada di zona 2.

4.2.3 Kadar Lumpur Agregat Halus

Tabel 4.4 Data pengujian kadar lumpur pada agregat halus.

Pengujian	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat SSD	gr	962,6	981,8	972,2
Berat SSD setelah dicuci	gr	936	947,8	941,9
Berat Kotoran	gr	27,4	28,1	27,75
Persentase Kotoran	%	2,77	2,78	2,78

Data yang didapat dari pengujian Kadar Lumpur maka persentase kadar lumpur rata-rata 2,78%. Nilai ini masih berada dalam batas yang diijinkan yaitu maksimal 5% (SNI 4, 1989/ F), sehingga agregat tidak perlu harus dicuci sebelum digunakan.

4.2.4 Berat Isi Agregat Halus

Tabel 4.5 Data pengujian berat isi agregat halus dengan cara lepas, cara tusuk, dan cara penggoyangan.

Nomor Contoh		Lepas	Tusuk	Penggoyangan
Berat Cetakan + Agregat, dipadatkan (gram)	W_{cac}	22900,5	23698,1	23785,4
Berat Cetakan (gram)	W_c	5336	5336	5336
Berat Agregat (gram)	$W_{cac} - W_c$	17564,5	18362,1	18449,4
Volume Cetakan (cm^3)	V_c	11125,4	11125,4	11125,4
Berat Isi Padat Agregat ($gram/cm^3$)	$\frac{W_{cac} - W_c}{V_c}$	1,58	1,65	1,66
		1,63		

Maka diperoleh Berat Isi rata-rata dari hasil pengujian yaitu 1,63 gr/cm^3 , nilai ini masih dalam batas yang diijinkan yaitu minimal 1,2 gr/cm^3 (SII No.52 – 1980).

4.2.5 Kadar Air Agregat Halus

Tabel 4.6 Data pengujian kadar air agregat halus.

Nomor Contoh		Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)
Berat benda uji sebelum dioven (gram)	W_1	987,5	981,3
Berat benda uji setelah dioven (gram)	W_2	971,5	968,9
Kadar Air Benda Uji (%)	$\frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\%$	1,65	1,28
		1,46	

Berdasarkan pengujian kadar air pada agregat halus maka diperoleh rata-rata kadar air sebesar 1,46%. Pengujian ini dilakukan dengan dua sampel yang digunakan, dengan sampel pertama didapat hasil kadar air sebesar 1,65% dan sampel kedua didapat hasil kadar air sebesar 1,28%.

4.3 Pemeriksaan Agregat Kasar

Pada penelitian ini digunakan agregat kasar berupa batu pecah yang diperoleh dari Kota Binjai, secara umum batu pecah memiliki bentuk ukuran yang bervariasi dengan ukuran maksimal 40 mm. Pada agregat kasar dilakukan pemeriksaan bahan yang meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan, analisa gradasi, kadar lumpur, berat isi dan kadar air.

4.3.1 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Tabel 4.7 Hasil data pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar.

Nama Contoh		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
<i>Wt. Of SSD Sample in Air</i> (Berat contoh (SSD) kering permukaan jenuh) (A)	A	3102,2	3098,4	3100,3
<i>Wt. Of SSD Sample in Water</i> (Berat contoh (SSD) didalam air) (B)	B	1836,8	1833,6	1835,2
<i>Wt. Of Oven Dry Sample</i> (Berat contoh (SSD) keringoven (110° C) Sampai Konstan) C	C	3092,6	3089,4	3091
<i>Bulk Sp. Gravity-SSD</i> (Berat jenis contoh SSD)	$\frac{A}{A - B}$	2,452	2,450	2,451
<i>Bulk Sp. Gravity-Dry</i> (Berat jenis contoh kering)	$\frac{C}{A - B}$	2,444	2,443	2,443
<i>Apparent Sp. Gravity-Dry</i> (Berat jenis contoh semu)	$\frac{C}{C - B}$	2,463	2,460	2,461
Penyerapan air (%)	$\frac{A - C}{C} \times 100\%$	0,310	0,291	0,301

Data yang di dapat dari pengujian berat jenis maka Berat jenis kering rata-rata sebesar 2,44 dan dapat diklasifikasikan sebagai agregat normal karena nilainya masih dalam batas yang diijinkan yaitu antara 2,2 – 2,7. Penyerapan air (*absorption*) yang didapat dari hasil pengujian yaitu 0,30%. Angka tersebut menunjukkan kemampuan agregat dalam menyerap air dari keadaan kering mutlak sampai jenuh kering maka sebesar 0,30% dari berat kering agregat tersebut.

4.3.2 Analisa Gradasi Agregat Kasar

Tabel 4.8 Data pengujian analisa gradasi agregat kasar dengan spesifikasi ukuran maksimal 19 mm.

Ukuran Ayakan	Retained Fraction			Berat Tertahan	Cumulative		Batas Zona	
	Sampel 1	Sampel 2	Total Weight		Kumulatif Berat Tertahan	Berat Lolos		
(mm)	(Gram)	(Gram)	(Gram)	(%)	(%)	(%)	Min	Max
37,50	0	0	0	0	0	0	100	100
25,00	0	0	0	0	0	0	100	100
19,00	0	0	0	0	0	100	90	100
12,50	2264,5	2615,8	4880,3	68,41	68,41	31,59	20	50
9,50	1011,3	1196,8	2208,1	30,95	99,36	0,64	0	15
4,00	23,4	22,4	45,8	0,64	100,00	0,00	0	5
Jumlah	3299,2	3835	7134,2					
FM	2,68							

- Persentase berat tertahan rata-rata:

$$\text{No.3/4"} (19,00) = \frac{0}{7134,2} \times 100\% = 0\%$$

$$\text{No.1/2"} (12,50) = \frac{4880,3}{7134,2} \times 100\% = 68,41\%$$

$$\text{No.3/8"} (9,50) = \frac{2208,1}{7134,2} \times 100\% = 30,95\%$$

$$\text{No.4 (4,75)} = \frac{45,8}{7134,2} \times 100\% = 0,64\%$$

- Persentase berat kumulatif tertahan:

$$\text{No.3/4"} (19,00) = 0 + 0 = 0\%$$

$$\text{No.1/2"} (12,50) = 0 + 68,41 = 68,41\%$$

$$\text{No.3/8"} (9,50) = 68,41 + 30,95 = 99,36\%$$

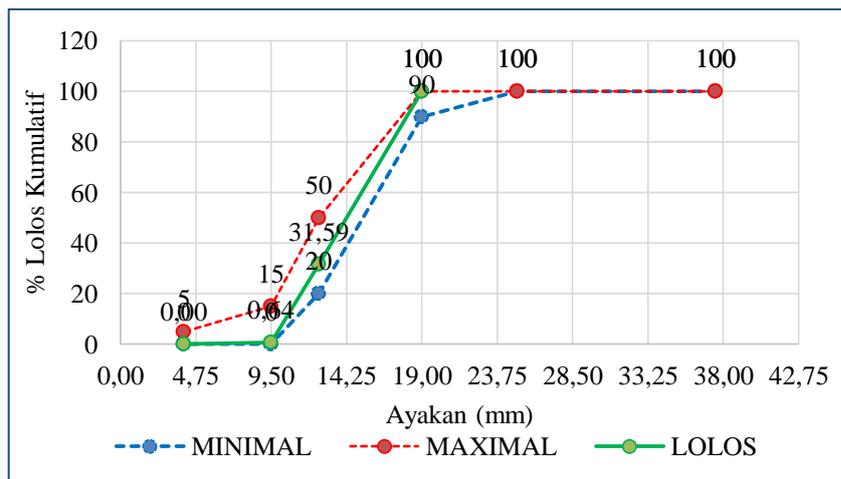
$$\text{No.4 (4,75)} = 99,36 + 0,64 = 100\%$$

$$\text{Jumlah persentase kumulatif tertahan} = 267,8\%$$

$$\text{FM (Modulus Kehausan)} = \frac{\text{Jumlah \% kumulatif tertahan}}{100}$$

$$= \frac{267,8}{100}$$

$$= 2,68$$



Gambar 4.2 Grafik Gradasi Agregat Kasar.

Data hasil pemeriksaan analisa saringan agregat kasar pada percobaan ini didapat FM sebesar 2,68%. Nilai tersebut masih diijinkan untuk termasuk sebagai agregat kasar, dimana nilai yang diijinkan dibawah 6 - 7% (ASTM C33 – 93).

4.3.3 Kadar Lumpur Agregat Kasar

Tabel 4.9 Data pengujian kadar lumpur agregat kasar.

Pengujian	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat SSD	gr	1500	1500	1500
Berat SSD setelah dicuci	gr	1493	1495	1494
Berat Kotoran	gr	7	5	6
Persentase Kotoran	%	0,5	0,3	0,4

Data hasil pengujian kadar lumpur, maka didapat persentase kadar lumpur rata-rata 0,4%. Nilai ini masih berada dalam batas yang diijinkan yaitu maksimal 1% (SNI S – 04 – 1989 – F), sehingga agregat tidak perlu harus dicuci sebelum digunakan.

4.3.4 Berat Isi Agregat Kasar

Tabel 4.10 Data pengujian berat isi agregat kasar dengan cara lepas, cara tusuk, dan cara penggoyangan.

Nomor Contoh		Lepas	Tusuk	Goyang	Rata-Rata
Berat bejana + Agregat, dipadatkan (gram)	W_{cac}	24186	25182	25856	25074,7
Berat bejana (gram)	W_c	5336	5336	5336	5336
Berat Agregat (gram)	$W_{cac} - W_c$	18850	19846	20520	19738,7
Volume Bejana (cm^3)	V_c	11125,4	11125,4	11125,4	11125,4
Berat Isi Padat Agregat ($gram/cm^3$)	$\frac{W_{cac} - W_c}{V_c}$	1,694	1,784	1,844	1,77

Didapat Berat Isi rata-rata dari hasil pengujian diatas ialah $1,77 \text{ gr/cm}^3$, nilai ini masih dalam batas yang diijinkan yaitu minimal $1,2 \text{ gr/cm}^3$ (SII No.52 – 1980).

4.3.5 Kadar Air Agregat Kasar

Tabel 4.11 Data pengujian kadar air agregat kasar.

Nomor Contoh		Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)
Berat benda uji sebelum dioven (gram)	W_1	1500	1500
Berat benda uji setelah dioven (gram)	W_2	1489,3	1490,2
Kadar Air Benda Uji (%)	$\frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\%$	0,71	0,65
		0,7	

Berdasarkan data yang diperoleh dalam pengujian Kadar Air, maka didapatkan rata-rata kadar air sebesar 0,7%. Percobaan dilakukan sebanyak dua kali, dengan percobaan pertama didapat hasil kadar air sebesar 0,71%. Sedangkan percobaan kedua didapat hasil kadar air sebesar 0,65%.

4.4 Perencanaan Campuran dan Kebutuhan Bahan Beton

4.4.1 *Mix Design* Beton Normal Mutu Sedang

Pada hal ini penulis menggunakan data-data dari penelitian yang sudah dilakukan pada pengujian dasar pada tabel 4.1. Data-data dibawah ini digunakan untuk dalam perencanaan beton atau *mix design* dengan kekuatan yang direncanakan sebesar 20 MPa.

Tabel 4.12 Data-data dasar dari hasil pengujian agregat.

No	Data Tes Dasar	Nilai
1	Berat jenis agregat kasar	2,461 gr/cm ³
2	Berat jenis agregat halus	2,630 gr/cm ³
3	Kadar lumpur agregat kasar	0,4 %
4	Kadar lumpur agregat halus	2,8 %
5	Berat isi agregat kasar	1,77 gr/cm ³
6	Berat isi agregat halus	1,63 gr/cm ³
7	FM agregat kasar	2,68
8	FM agregat halus	2,88
9	Kadar air agregat kasar	0,7 %
10	Kadar air agregat halus	1,46 %
11	Penyerapan agregat kasar	0,30 %
12	Penyerapan agregat halus	2,67 %
13	Nilai slump rencana	75-150 mm
14	Ukuran agregat maksimum	19 mm

Maka, dari data-data tabel 4.12 diatas perencanaan campuran beton (*Mix Design*) yang berdasarkan *American Concrete Institue* (ACI) 211.1-91 dapat dibuat seperti pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Perencanaan Campuran Beton dengan Metode ACI

PERENCANAAN CAMPURAN BETON					
ACI 211.1-91					
No	Uraian	Tabel/Gambar Perhitungan		Nilai	
1.	Kuat tekan yang disyaratkan (benda uji silinder)	Ditetapkan		20 MPa	
2.	Deviasi Standar	-		5,5 MPa	
3.	Nilai tambah (margin)	-		9 Mpa	
4.	Kekuatan rata-rata yang ditargetkan	1+2+3		34,5 MPa	
5.	Jenis semen	Ditetapkan		Tipe 1	
6.	Agregat Kasar	Ditetapkan		Batu pecah Binjai	
7.	Agregat Halus	Ditetapkan		Pasir alam Binjai	
8.	Faktor air-semen bebas	-		0,545	
9.	Faktor air-semen maksimum	Ditetapkan		0,63	
10.	Slump	Ditetapkan		75-150 mm	
11.	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan		19 mm	
12.	Kadar air bebas	Ditetapkan		209,5 kg/m ³	
13.	Jumlah semen	Ditetapkan		384,03 kg/m ³	
14.	Jumlah semen maksimum	Ditetapkan		384,03 kg/m ³	
15.	Faktor air semen yang disesuaikan	Ditetapkan		0,545	
16.	Susunan besar butir agregat halus	Gambar 4.1		Daerah gradasi zona 2	
17.	Susunan besar butir agregat kasar atau gabungan	Gambar 4.2		Gradasi maksimum 19 mm	
18.	Berat isi beton	Ditetapkan		2270,92 Kg/m ³	
19.	Proporsi Campuran	Semen (kg)	Air (liter)	Agregat kondisi jenuh kering (kg)	
				Halus	Kasar
	Tiap m ³	384,03	209,5	561,65	1116
	Tiap campuran uji m ³	1	0,545	1,463	2,91
Tiap campuran uji 0,0053 m ³ (1 Silinder)	2,035	1,2204	3,2753	6,508	

1. Kuat tekan rencana ($f'c$) = 20 MPa dan benda uji akan dilakukan pengujian pada umur rencana 14 hari dan 21 hari.
2. Deviasi standar, karena benda uji yang direncanakan lebih dari 55 dan kurang dari 65, maka nilai standar deviasi yang digunakan sebesar 55 atau 5,5 MPa.
3. Nilai tambah margin (M) adalah $M=1,64 \times sd$ atau $M = (1,64 \times 55) = 90,2 \text{ kg/m}^3$.

4. Kuat tekan beton rata-rata yang di targetkan (f'_{cr}):

$$\begin{aligned}
 f'_{cr} &= f'_c + \text{Deviasi standar} + M \\
 &= 20 + 5,5 + 9,02 \\
 &= 34,52 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$
5. Semen yang digunakan harus semen Portland tipe 1.
6. Agregat yang digunakan berupa agregat halus pasir alami dari Binjai
7. Agregat kasar batu pecah dengan ukuran maksimum 19 mm dari Binjai.
8. Faktor air semen (FAS), semen yang digunakan semen Portland tipe I, beton dilakukan pengujian pada umur rencana 14 hari dan 21 hari, benda uji silinder dan agregat kasar berupa batu pecah maka digunakan nilai FAS sebesar 0,545.

Jenis Konstruksi	Keadaan Cuaca luar					
	Perubahan suhu yang berbahaya berkali-kali dari air beku dan cair (hanya untuk beton air-entrained)			Bersuhu Sedang		
	Di udara	Di permukaan air atau di daerah naik turunnya / pancaran air		Di udara	Di permukaan air atau di daerah naik turunnya / pancaran air	
		Air Sejuk	Air Es		Air Sejuk	Air Es
Tampang tipis seperti: beton untuk tepi jalan, strip-strip, tiang bertulang, pipa beton hiasan dan semua beton yang selimutnya < 2 cm	0,500	0,445	0,408	0,545	0,500	0,408
Tampang sedang seperti: dinding penahan tanah, pilar, balok, kolom	0,545	0,500	0,455		0,545	0,455
Bagian luar dari beton massa yang berat	0,590	0,500	0,455		0,545	0,455
Beton yang di tuang di dalam air		0,455	0,455		0,455	0,455
Pelat yang ditempatkan di permukaan tanah	0,545					

Gambar 4.3 Faktor Air Semen (ltr/kg semen) untuk berbagai jenis konstruksi.

9. Faktor air semen maksimum, berdasarkan gambar 4.3 mengenai persyaratan faktor air maksimum karena beton berada dilokasi terlindung dari hujan dan terik matahari langsung, maka faktor air semen maksimum ditetapkan sebesar 0,63.
10. Nilai *slump* yang direncanakan pada penelitian ini menggunakan slump rencana sebesar 75-150 mm.

11. Ukuran maksimum yang digunakan sebesar 19 mm.
12. Kadar air bebas 209,3 liter.
13. Kadar semen dapat dicari perhitungannya dengan cara, nilai kadar air bebas dibagi faktor air semen, maka jumlah semen yang digunakan akan didapatkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar air semen} &= \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{Faktor air semen}} \\ &= \frac{209,3}{0,545} \\ &= 384,03 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

14. Nilai kadar semen maksimum sebesar 384,03 kg/m
15. Faktor air semen yang digunakan dalam *mix design* disesuaikan dengan nilai 0,545.
16. Susunan butir agregat halus ditentukan dari gradasi pasir no 2.
17. Susunan butir agregat kasar ditentukan dari batas gradasi agregat kasar ukuran maksimum 19 mm.
18. Berat isi beton diperoleh sebesar 2270,92 kg/m³.
19. Proporsi Campuran

Kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan semen, air, agregat halus dan agregat kasar dihitung dalam per m³ adukan.

- Semen $= \frac{384,03}{384,03} = 1$
- Air $= \frac{209,5}{384,03} = 0,545$
- Pasir $= \frac{561,65}{384,03} = 1,463$
- Batu pecah $= \frac{1116}{384,03} = 2,91$

4.5 Kebutuhan Bahan

Berdasarkan hasil perhitungan *mix design* beton normal mutu sedang, maka kebutuhan bahan untuk 1 m³ sebagai berikut:

1. Semen $= 384,03 \text{ kg/m}^3$
2. Agregat halus $= 561,65 \text{ kg/m}^3$
3. Agregat kasar $= 1116 \text{ kg/m}^3$

4. Air $= 209,5 \text{ kg/m}^3$

a. Untuk satu benda uji silinder (kg)

Kebutuhan volume satu benda uji dengan cetakan silinder sebagai berikut:

1. Tinggi cetakan $= 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$

2. Lebar cetakan $= 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$

3. Volume cetakan $= \pi r^2 t$
 $= \frac{22}{7} \times \frac{(0,15)^2}{2} \times 0,30$
 $= 0,0053 \text{ m}^3$

Maka, untuk setiap perhitungan campuran bahan pembuatan beton dilampirkan data sebagai berikut:

- Semen yang dibutuhkan untuk 1 benda uji
 $= \text{Banyak semen} \times \text{Volume 1 benda uji}$
 $= 384,03 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3$
 $= 2,035 \text{ kg}$
- Pasir yang dibutuhkan untuk 1 benda uji
 $= \text{Banyak pasir} \times \text{Volume 1 benda uji}$
 $= 561,65 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3$
 $= 2,98 \text{ kg}$
- Batu pecah yang dibutuhkan untuk 1 benda uji
 $= \text{Banyak batu pecah} \times \text{Volume 1 benda uji}$
 $= 1116 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3$
 $= 5,91 \text{ kg}$
- Air yang dibutuhkan untuk 1 benda uji
 $= \text{Banyak air} \times \text{Volume 1 benda uji}$
 $= 209,5 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3$
 $= 1,11 \text{ kg}$

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

Semen	:	Pasir	:	Batu pecah	:	Air
2,035	:	2,98	:	5,91	:	1,11

Berdasarkan dari perhitungan analisa saringan, maka yang diperoleh berat untuk masing-masing proporsi material yang digunakan untuk 1 benda uji silinder.

b. Limbah beton

Penggunaan bahan tambah dalam penelitian ini, yaitu menggunakan limbah beton sebesar 15%, 25% dan 35% dari berat pengganti agregat kasar keseluruhan. Berat masing-masing variasi diuraikan sebagai berikut:

Tabel 4.14 Banyaknya limbah beton yang dibutuhkan untuk 1 benda uji silinder.

Persentase banyaknya limbah beton (%)	Banyaknya limbah beton dari berat agregat kasar (gr)
15	886,5
25	1477,5
35	2068,5

4.6 Pengujian Slump Test (Slum Rencana 75-150 mm)

Pengujian *slump test* bertujuan untuk meningkatkan (*workability*) pada pekerjaan konstruksi. Dimana nilai slump yang sesuai dengan perencanaan akan mengetahui suatu mutu beton yang akan digunakan. *Slump test* dilakukan untuk mengetahui *workability* beton campuran yang menggunakan limbah beton pada substitusi agregat kasar.

Hal-hal yang mempengaruhi *slump Test*, yaitu:

- a. Kadar air agregat.
- b. Kadar lumpur agregat.
- c. Faktor air semen.
- d. Gradasi agregat.
- e. Bahan tambah yang digunakan.

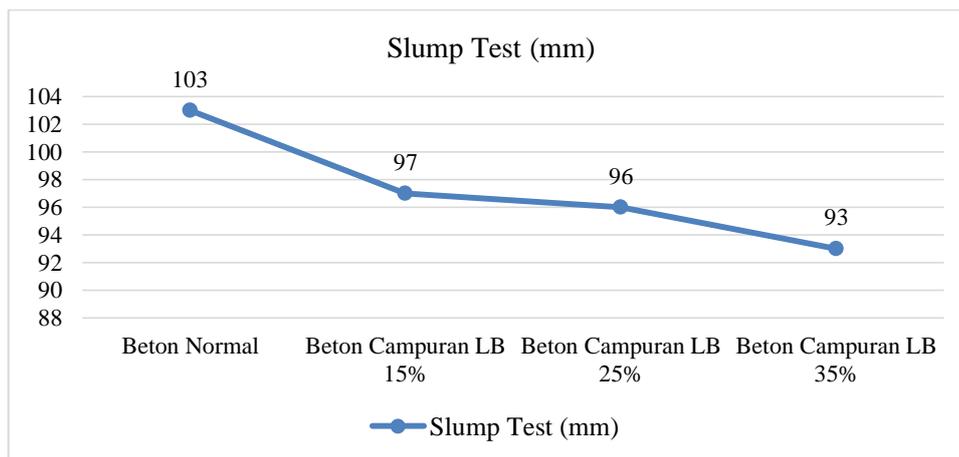
Dalam pengujian ini maka didapatkan hasil data *slump test* dengan melihat beton yang dimasukan kedalam kerucut *abrams*. Penelitian ini memiliki nilai

slump test direncanakan sebesar 75 mm sampai 150 mm. Berikut hasil dari pengujian *slump test* beton normal dan beton variasi campuran limbah beton dapat dilihat pada tabel 4.15 berikut ini:

Tabel 4.15 Hasil nilai dari pengujian *Slump Test*

No.	Variasi Beton	<i>Slump Test</i> (mm)
1.	Beton Normal	103
2.	Beton Campuran LB 15%	97
3.	Beton Campuran LB 25%	96
4.	Beton Campuran LB 35%	93

Hasil dari tabel 4.15 terdapat perubahan diameter *slump test* pada setiap campuran limbah beton, berikut grafik *slump test*.



Gambar 4.4 Grafik *Slump Test*

Hasil dari Gambar 4.4 terdapat perubahan diameter *slump flow* pada setiap campuran limbah beton pada benda uji beton tersebut, campuran limbah beton 15% terdapat nilai slump yang tinggi yaitu 97 mm dan sedangkan beton dengan campuran limbah beton 25% mendapatkan nilai slump 96 mm dan 35% terdapat nilai slump sebesar 93 mm. Pada nilai slump campuran limbah beton 15% masih memiliki nilai slump yang mendekati nilai slump beton normal karena campuran isi beton masih lebih banyak menggunakan material pembuatan beton pada umumnya, hal ini terjadi disebabkan penggunaan limbah beton hanya 15% dari berat total agregat kasar.

4.7 Hasil dan Analisa Penyerapan Air

Tabel 4.16 Hasil pengujian penyerapan beton normal umur 14

Sampel	Umur Beton	Berat Beton Pada Perendaman		Penyerapan Air Pada Beton (gr)	Rata-rata Penyerapan Air Pada Beton (gr)
		Sebelum (gr)	Sesudah (gr)		
1	14	12822	13006	184	175
2	14	12631	12797	166	

Tabel 4.17 Hasil pengujian penyerapan beton campuran LB 15%

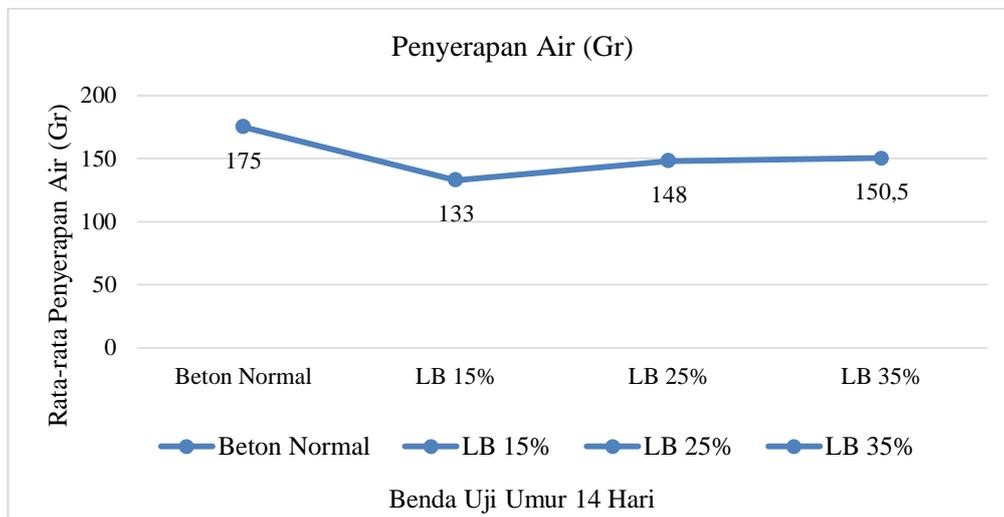
Sampel	Umur Beton	Berat Beton Pada Perendaman		Penyerapan Air Pada Beton (gr)	Rata-rata Penyerapan Air Pada Beton (gr)
		Sebelum (gr)	Sesudah (gr)		
1	14	12537	12688	151	133
2	14	12878	12993	115	

Tabel 4.18 Hasil pengujian penyerapan beton campuran LB 25%

Sampel	Umur Beton	Berat Beton Pada Perendaman		Penyerapan Air Pada Beton (gr)	Rata-rata Penyerapan Air Pada Beton (gr)
		Sebelum (gr)	Sesudah (gr)		
1	14	12654	12859	205	148
2	14	12719	12810	91	

Tabel 4.19 Hasil pengujian penyerapan beton campuran LB 35%

Sampel	Umur Beton	Berat Beton Pada Perendaman		Penyerapan Air Pada Beton (gr)	Rata-rata Penyerapan Air Pada Beton (gr)
		Sebelum (gr)	Sesudah (gr)		
1	14	12519	12648	129	150,5
2	14	12544	12716	172	



Gambar 4.5 Grafik perbandingan rata-rata penyerapan air pada beton

Tabel 4.20 Hasil pengujian penyerapan beton normal umur 21

Sampel	Umur Beton	Berat Beton Pada Perendaman		Penyerapan Air Pada Beton (gr)	Rata-rata Penyerapan Air Pada Beton (gr)
		Sebelum (gr)	Sesudah (gr)		
1	21	12755	12924	169	180
2	21	12926	13117	191	

Tabel 4.21 Hasil pengujian penyerapan beton campuran LB 15%

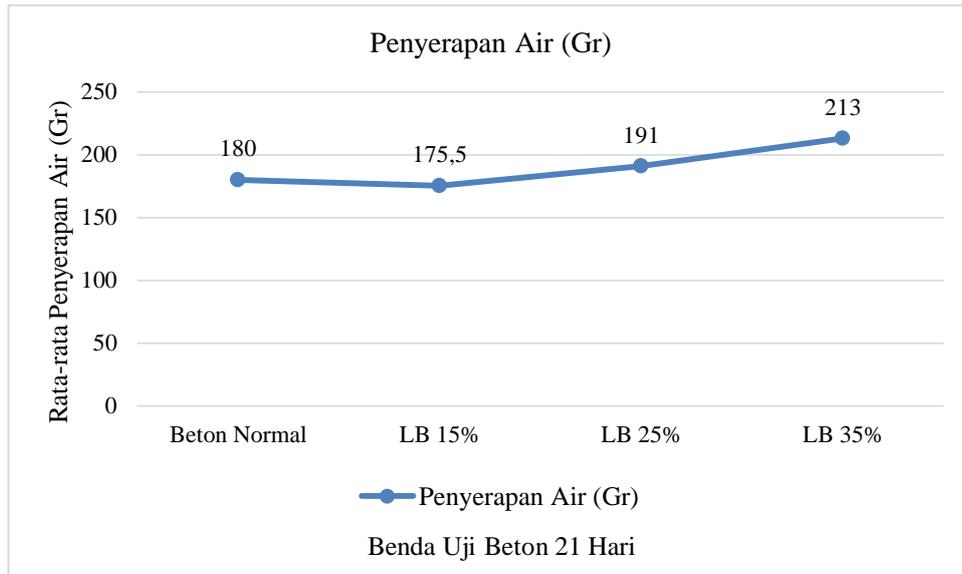
Sampel	Umur Beton	Berat Beton Pada Perendaman		Penyerapan Air Pada Beton (gr)	Rata-rata Penyerapan Air Pada Beton (gr)
		Sebelum (gr)	Sesudah (gr)		
1	21	12547	12716	169	175,5
2	21	12937	13119	182	

Tabel 4.22 Hasil pengujian penyerapan beton campuran LB 25%

Sampel	Umur Beton	Berat Beton Pada Perendaman		Penyerapan Air Pada Beton (gr)	Rata-rata Penyerapan Air Pada Beton (gr)
		Sebelum (gr)	Sesudah (gr)		
1	21	12923	13117	194	191
2	21	12291	12479	188	

Tabel 4.23 Hasil pengujian penyerapan beton campuran LB 35%

Sampel	Umur Beton	Berat Beton Pada Perendaman		Penyerapan Air Pada Beton (gr)	Rata-rata Penyerapan Air Pada Beton (gr)
		Sebelum (gr)	Sesudah (gr)		
1	21	12549	12768	219	213
2	21	12613	12818	207	



Gambar 4.6 Grafik perbandingan rata-rata penyerapan air pada beton

Berdasarkan data hasil pengujian yang telah dilakukan, maka didapat penyerapan air beton normal umur 14 sebanyak 175 gr, limbah beton 15% sebanyak 133 gr, limbah beton 25% sebanyak 148 gr, dan limbah beton 35% sebanyak 150,5 gr. Sedangkan untuk hasil penyerapan air beton normal umur 21 sebanyak 180 gr, beton campuran limbah beton 15% sebanyak 175,5 gr, beton campuran limbah beton 25% sebanyak 191 gr, dan limbah beton 35% sebanyak 213 gr. Untuk penyerapan air tertinggi beton terjadi pada benda uji yang menggunakan substitusi agregat kasar limbah beton 35%, hal ini disebabkan karena keadaan agregat limbah beton memiliki pori yang besar sehingga penyerapan air menjadi tinggi, dan untuk beton dengan penyerapan air terendah terdapat pada sampel yang menggunakan agregat limbah beton 15%. Dari hasil perbedaan nilai penyerapan air pada beton tersebut, dampak pori limbah beton yang besar mengakibatkan nilai uji kuat tekan beton menurun.

4.8 Pengujian Kuat Tekan Beton

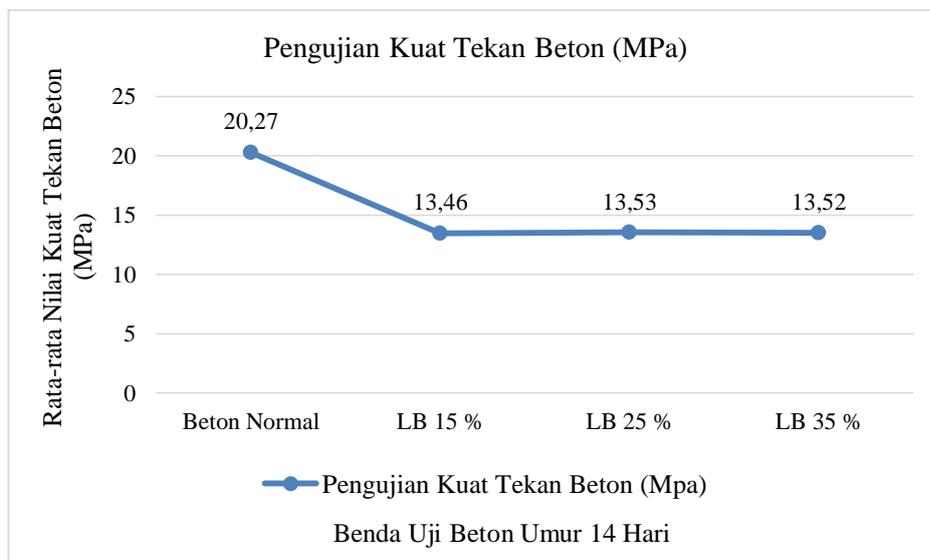
Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan metode SNI 03-1974-2011, pelaksanaan pengujian dilakukan pada saat beton berumur 14 hari, 21, dan 28 hari, dengan menggunakan mesin kuat tekan (*compressive strength test*) yang

kapasitas mesin kuat tekan mencapai 150 ton. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Nilai yang dihasilkan pengujian kuat tekan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.24 Hasil nilai pengujian kuat tekan beton umur 14 hari

Benda uji	Benda Uji	Umur Beton	Beban maksimum (KN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
1	Beton Normal	14 Hari	343,85	20,24	20,27
2		14 Hari	345,15	20,31	
3	Beton LB 15%	14 Hari	218,71	12,88	13,46
4		14 Hari	238,45	14,03	
5	Beton LB 25%	14 Hari	221,84	13,06	13,53
6		14 Hari	237,66	14	
7	Beton LB 35%	14 Hari	224,90	13,24	13,52
8		14 Hari	234,40	13,8	

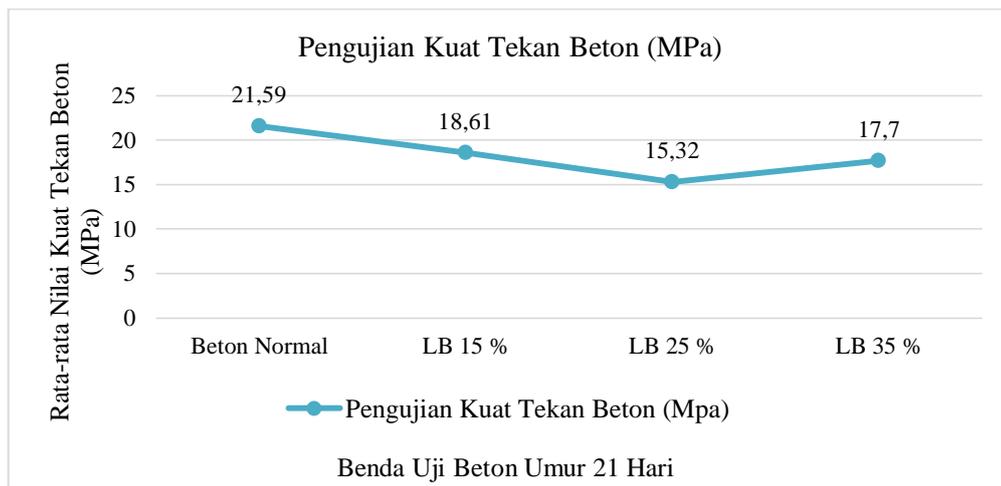
Dari tabel 4.24 maka dapat dilihat perbandingan dari masing-masing nilai yang dihasilkan setiap sampel baik beton normal dengan beton variasi. Untuk grafik yang dihasilkan sebagai berikut:



Gambar 4.7 Grafik nilai kuat tekan beton pada umur 14 hari

Tabel 4.25 Hasil nilai pengujian kuat tekan beton umur 21 hari

Benda uji	Benda Uji	Umur Beton	Beban maksimum (KN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
1	Beton Normal	21 Hari	365,16	21,50	21,59
2		21 Hari	368,30	21,68	
3	Beton LB 15%	21 Hari	325,42	19,16	18,61
4		21 Hari	306,66	18,05	
5	Beton LB 25%	21 Hari	239,66	14,11	15,32
6		21 Hari	280,80	16,53	
7	Beton LB 35%	21 Hari	285,44	16,8	17,7
8		21 Hari	315,95	18,6	

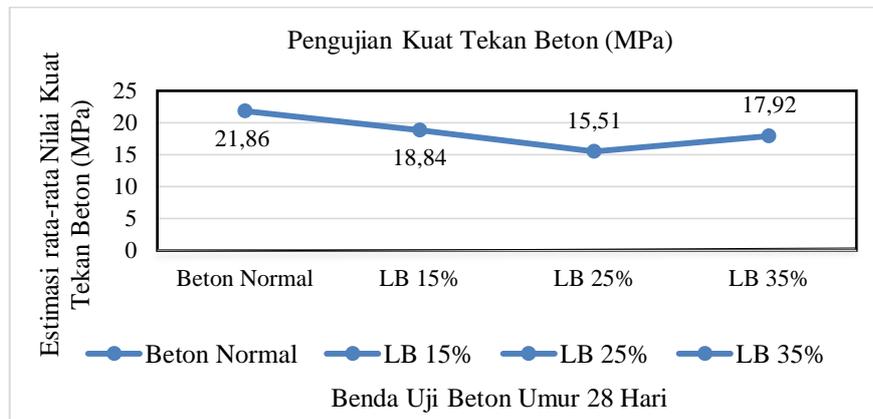


Gambar 4.8 Grafik nilai kuat tekan beton pada umur 21 hari

Hasil pengujian kuat tekan beton umur beton 21 hari dengan variasi limbah beton 15% mutu yang dicapai adalah 18,61 MPa, beton 25% 15,32 MPa, dan limbah beton 35% 17,7 MPa. Hasil yang dicapai pada umur beton 21 hari tidak mencapai terhadap mutu rencana, dimana kuat tekan yang dicapai masih dibawah 20 MPa untuk beton campuran dengan material limbah beton.

Tabel 4.26 Hasil perhitungan estimasi yang dicapai pada umur beton 28 hari

Sampel Beton	Berat Sampel	Berat/ Volume	Beban Maksimum	Kuat Tekan (fc)	Kuat Tekan (fc) 21 Hari	Kuat Tekan (fc) 28 Hari (Estimasi)	Rata-Rata Kuat Tekan Per Umur 28 Hari
	gram	gr/cm ³	kN	kgf/cm ²	MPa	MPa	
Beton Normal (1)	12924	2,4391	365,16	210,82	21,50	21,76	21,86
Beton Normal (2)	13117	2,4755	368,30	212,63	21,68	21,95	
Beton 15 % (1)	12716	2,3998	325,42	187,88	19,16	19,39	18,84
Beton 15 % (2)	13119	2,4759	306,66	177,05	18,05	18,28	
Beton 25 % (1)	13117	2,4755	239,66	138,36	14,11	14,28	15,51
Beton 25 % (2)	12479	2,3551	280,80	162,12	16,53	16,73	
Beton 35 % (1)	12768	2,4096	285,44	164,79	16,80	17,01	17,92
Beton 35 % (2)	12818	2,4191	315,95	182,41	18,60	18,83	



Gambar 4.9 Grafik esrtimasi nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari

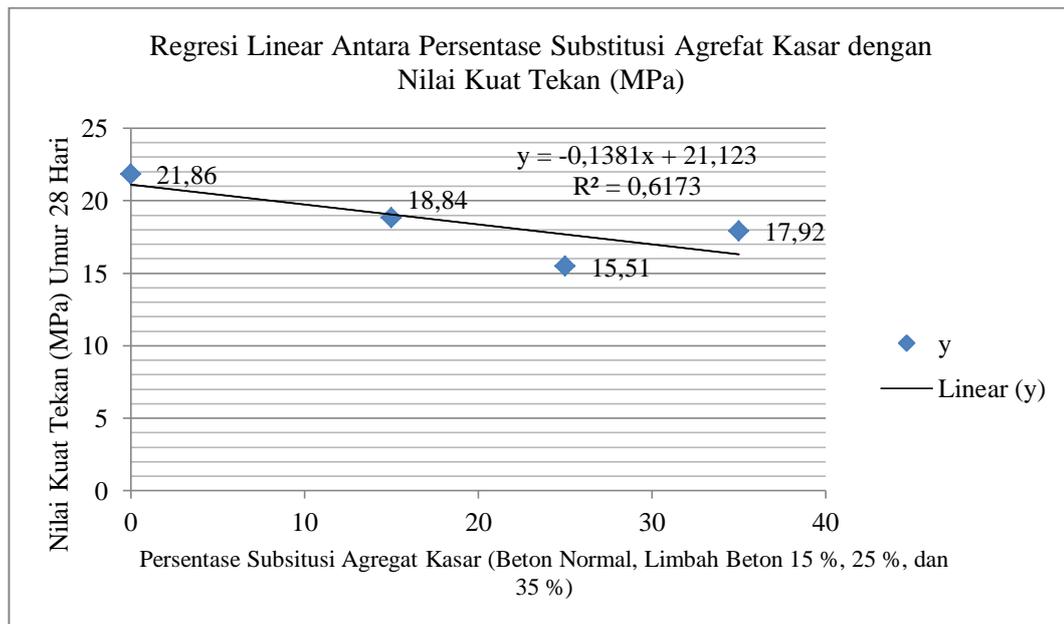
Hasil dari perhitungan yang menggunakan estimasi pada umur beton 28 hari dengan kuat tekan beton umur 21 hari yang jadi faktor perhitungan untuk pencapaian nilai kuat tekan beton 28 hari. Dari tabel diatas, maka rata-rata hasil kuat tekan pada beton normal mencapai 21,86 MPa, limbah beton 15% 18,84 MPa, limbah beton 25% 15,51 MPa, dan 35% 17,92 MPa.

4.9 Regresi Linear Antara Persentase Substitusi Agregat Kasar Dengan Kuat Tekan Umur 28 Hari

Dalam analisis regresi sederhana, hubungan antar variabel bersifat linear, dimana perubahan pada variabel X akan diikuti oleh perubahan Variabel Y secara tetap. Sementara pada hubungan non linear, perubahan variabel X tidak diikuti variabel Y secara proposional.

Tabel 4.27 Nilai sumbu x dan y pada regresi linear antara persentase substitusi agregat kasar dengan nilai kuat tekan umur 28 hari.

X (Persentase Limbah Beton)	Y (Nilai Kuat Tekan Umur 28 Hari (MPa))
0 %	21,86
15 %	18,84
25 %	15,51
35 %	17,92



Gambar 4.10 Grafik regresi linear antara persentase substitusi agregat kasar Dengan kuat tekan umur 28 hari

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan limbah beton dapat di pergunakan kembali dalam campuran pembuatan beton, berikut adalah hasil kuat tekan beton variasi yang di dapat:
 - a. Beton Umur 14 Hari
 1. Limbah beton 15% = 13,46 MPa
 2. Limbah beton 25% = 13,53 MPa
 3. Limbah beton 35% = 13,52 MPa
 - b. Beton umur 21 hari
 1. Limbah beton 15% = 18,61 MPa
 2. Limbah beton 25% = 15,32 MPa
 3. Limbah beton 35% = 17,7 MPa
 - c. Beton umur 28 hari
 1. Limbah beton 15% = 18,84 MPa
 2. Limbah beton 25% = 15,51 MPa
 3. Limbah beton 35% = 17,92 MPa
2. Nilai kuat tekan beton yang diperoleh dari seluruh pengujian sampel yang berjumlah 16 sampel untuk beton normal tercapai mutu rencana pada umur 28 hari berjumlah 21,86 dan yang tidak tercapai dari mutu rencana yaitu pada beton yang menggunakan substitusi limbah beton pada agregat kasar, dimana nilai tersebut hanya mencapai mutu tertinggi rata-rata yaitu 18,84 MPa pada campuran limbah beton 15%. Tetapi hasil kuat tekan beton yang dicapai dari masing-masing sampel masih bisa di pergunakan dalam bidang struktur mutu rendah. Dengan nilai kuat tekan beton yang didapat bias digunakan dalam konstruksi jalan (trotoar), pondasi kolom, dan lantai dasar.

5.2 Saran

1. Komposisi campuran limbah beton dapat mempengaruhi perolehan nilai kuat tekan dan nilai pengujian lainnya. Sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan terhadap variasi penggunaan limbah beton untuk menentukan produk beton campuran yang lebih baik.
2. Dari penelitian yang sudah dilaksanakan semoga memberikan dan mampu membantu dalam perkembangan proses teknologi beton ataupun penerapan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andardi, Faris Rizal, and Lukito Prasetyo. 2022. "Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Dan Agregat Halus Berdasarkan Grafik Fuller Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan." *Rekayasa Sipil* 11 (1): 1. <https://doi.org/10.22441/jrs.2022.v11.i1.01>.
- Dewi, Evrianti Syntia. 2023. "Pemanfaatan Limbah Hasil Pengujian Beton Pada Proyek Bypass (BIL) Mandalika Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Beton Normal." *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Fakultas Teknik* , 1–8. <https://handasah.unizar.ac.id/jh/article/view/4>.
- Diwa, Boby A Y U, Program Studi, Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah, and Sumatera Utara. 2022. "PENGARUH PENGGUNAAN ABU SEKAM PADI DAN KAPUR SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEMEN TERHADAP KUAT TARIK PADA BETON." University Muhammadiyah North Sumatera.
- Grace, Rais Rachman, and Alpius. 2021. "Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Pada Campuran Stone Matrix Asphalt Halus." *Paulus Civil Engineering Journal* 3 (4): 499–506. <https://doi.org/10.52722/pcej.v3i4.329>.
- Harahap, Wulan Rahayu. 2019. "Analisa Modulus Elastisitas Pada Beton Sekam Padi Sebagai Pengganti Pasir (Studi Penelitian)."
- Kaselle, Hermana, and Raynaldo Bunga Allo. 2021. "Pengaruh Penggunaan Slag Nikel Pada Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton Geopolimer." *Journal of Applied Civil and Environmental Engineering* 1 (2): 67. <https://doi.org/10.31963/jacee.v1i2.2999>.
- M Ade Kurnia Harahap, Dermina Damanik, Rolando Sihombing, Virgo Erlano, Purba, and Mafrandi Benediktus Rajagukguk. 2023. "PADA PROYEK REHABILITASI KANTOR KEJAKSAAN NEGERI," 70–79.
- Mukhlis, Amir, and Bunyamin. 2020. "Pengaruh Penggunaan Agregat Tulang Sapi Terhadap Kuat Tekan Beton." *PORTAL Jurnal Teknik Sipil Vol. 12, No. 1, April* 12 (1): 40–47.
- Sebayang, Wellina Br. 2022. "Adolescent Childbirth with Asphyxia Neonatorum." *Jurnal Aisyah : Jurnal Ilmu Kesehatan* 7 (2): 669–72. <https://doi.org/10.30604/jika.v7i2.1507>.

- Slat, Marselino Hosea, Fery Sondakh, Vicky Alexander Assa, Konstruksi Bangunan Gedung, Teknik Sipil, Negeri Manado, and Kota Manado. 2022. “Jurnal TEKNIK SIPIL TERAPAN Pengaruh Penambahan Steel Fibre Pada Komposisi Campuran Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton.” *Jtst* 4 (2): 92–101. <http://jurnal.polimdo.ac.id/>.
- Sulianti, Ika; Amiruddin; Shaputra Rio; Daryoko. 2018. “Analisis Pengaruh Besar Butiran Agregat Kasar Terhadap.” *Analisis Pengaruh Besar Butiran Agregat Kasar Terhadap* 7 (1): 35–42.

FOTO DOKUMENTASI



Gambar.L 1. Agregat halus



Gambar.L 2. Agregat kasar



Gambar.L 3. Limbah beton



Gambar.L 4. Air



Gambar.L 5. Saringan agregat halus



Gambar.L 6. Cetakan silinder 15x30cm



Gambar.L 7. Oven



Gambar.L 8. Gelas Ukur 1000 ml



Gambar.L 9. Timbangan



Gambar.L 10. Sarung tangan



Gambar.L 11. Masker



Gambar.L 12. Skrap



Gambar.L 13. Sekop tangan



Gambar.L 14. Plastik sampel 10 Kg



Gambar.L 15. Ember



Gambar.L 16. Alat tulis spidol



Gambar.L 17. Palu karet



Gambar.L 18. Tongkat rojok



Gambar.L 19. Mesin kuat tekan (*compression test machine*)



Gambar.L 20. Proses peletakan sampel agregat halus ke dalam oven



Gambar.L 21. Beton dalam wadah cetakan silinder 15x30cm



Gambar.L 22. Proses peletakan benda uji pada bak perendaman



Gambar.L 23. Perendaman benda uji



Gambar.L 24. Benda uji yang sudah dikeluarkan dari bak perendaman



Gambar.L 25. Penimbangan berat benda uji setelah perendaman



Gambar.L 26. Persiapan sebelum memulai pengujian kuat tekan



Gambar.L 27. Proses pengujian benda uji dengan menggunakan mesin kuat tekan

RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PENYUSUN

Nama Lengkap : Muhamad Fadli
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 23 Februari 2000
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat : Jl. Budi Keadilan, No.11, Kel.Pulo Brayan Kota
Kecamatan : Medan Barat
Kota : Medan
Provinsi : Sumatera Utara
Agama : Islam
Nama Ayah : Selamat Riyadi
Nama Ibu : Hayati Saragih
No. Handphone : 085373662093
E_mail : fadlijabat008@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

No	Tingkat Pendidikan	Nama Sekolah	Tahun
1	Sekolah Dasar	SD Negeri 060843	2005-2011
2	Sekolah Menengah Pertama	SMP Negeri 11 Medan	2011-2014
3	Sekolah Menengah Atas	SMA Swasta Laksamana Martadinata	2014-2017