

TUGAS AKHIR
PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH BETON SEBAGAI ANALISIS
MODULUS ELASTISITAS BETON
(Studi Penelitian)

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

Disusun Oleh:

BIMA SUTIONO
1907210220



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

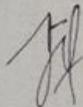
Nama : Bima Sutiono
NPM : 1907210220
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Substitusi Limbah Beton Sebagai Analisis Modulus Elastisitas Beton
Bidang Ilmu : Struktur

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

Medan, 14 November 2024

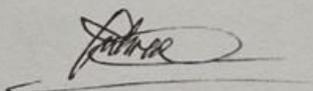
Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



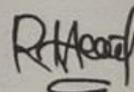
Sri Frapanti, S.T., M.T

Dosen Pembanding I



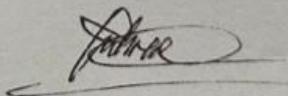
Assoc. Prof. Dr. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc., Ph.D

Dosen Pembanding II



Rizki Efrida, S.T., M.T

Ketua Prodi Teknik Sipil



Assoc. Prof. Dr. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc., Ph.D

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Bima Sutiono

NPM : 1907210220

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Substitusi Limbah Beton Sebagai Analisis Modulus Elastisitas Beton

Bidang Ilmu : Struktur

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

Disetujui Untuk Disampaikan

Kepada Panitia Ujian

Dosen Pembimbing



Sri Frapanti, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap : Bima Sutiono
Tempat, Tanggal Lahir : Binjai, 25 Mei 2001
NPM : 1907210220
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Tugas Akhir saya yang berjudul : **“Pengaruh Subtitusi Limbah Beton Sebagai Analisis Modulus Elastisitas Beton”**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan nonmaterial serta segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya 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 dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan atau keserjanaan saya.

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

Medan, 14 November 2024

Saya yang menyatakan,



Bima Sutiono

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 ikut andil dalam proses pengujian tugas akhir.
3. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T, selaku Dosen penguji II yang ikut andil dalam proses pengujian tugas akhir.
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 Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T., selaku Sekretaris 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 saya ucapkan kepada Muliono,S.P, (Ayah), Sutiani (Mamak) tercinta, yang telah bersusah payah membesarkan dan memberikan kasih sayangnya kepada penulis.
11. Teman mahasiswa/I Teknik Sipil 18 dan 19, juga seluruh teman-teman yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu serta telah menjadi motivator untuk penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan proposal 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, 16 Juni 2023

Penulis

Bima Sutiono

ABSTRAK
PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH BETON SEBAGAI ANALISIS
MODULUS ELASTISITAS BETON

Bima Sutiono
1907210220
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 menunjukkan pada saat pengujian Modulus elastisitas beton normal dengan beton campuran, maka didapat kuat tekaModulus elastisitas beton normal pada umur 14 hari yaitu 21162 MPa, sedangkan untuk beton campuran umur beton 14 hari variasi 15% 17235 MPa, 25% 17285 MPa, dan 35% 17280 MPa, pada pengujian kuat tekan beton normal umur 21 hari yaitu 21838 MPa, sedangkan variasi 15% 20270 MPa, 25% 18381 MPa, dan 35% 19767 MPa, dan untuk perolehan estimasi pada kuat tekan beton normal umur 28 hari yaitu 21471 MPa, sedangkan variasi 15% 20395 MPa, 25% 18492 MPa, dan 35% 19889 MPa. Hasil kuat tekan yang diperoleh ternyata tidak sampai dengan mutu yang direncanakan, hal ini disebabkan kerena keadaan agregat limbah beton memiliki pori yang besar sehingga mengakibatkan nilai uji kuat tekan beton menurun.

Kata Kunci: Limbah Beton, Beton, Agregat Kasar, Modulus Elastisitas

ABSTRACT
EFFECT OF CONCRETE WASTE SUBSTITUTION MODULUS ANALYSIS
ELASTICITY OF CONCRETE

Bima Sutiono
1907210220
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 modulus of elasticity of normal concrete with mixed concrete, the modulus of elasticity of normal concrete was obtained at the age of 14 days, which was 21162 MPa, while for mixed concrete the age of 14 days was a variation of 15% 17235 MPa, 25% 17285 MPa, and 35% 17280 MPa, in the modulus of elasticity test of normal concrete aged 21 days, which was 21838 MPa, while the variation of 15% is 20270 MPa, 25% is 18381 MPa, and 35% is 19767 MPa, and for the estimated achievement of the modulus of elasticity of normal concrete aged 28 days, which is 21471 MPa, while the variation of 15% is 20395 MPa, 25% is 18492 MPa, and 35% is 19889 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, modulus of elasticity

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Beton	5
2.2 Modulus Elastisitas Beton	5
2.3 Sifat Beton	7
2.4 Material Pembuatan Beton	8
2.4.1 Agregat	8
2.4.2 Agregat kasar	9
2.4.3 Limbah Beton	11
2.5 Penelitian Terdahulu	11
BAB 3 METODE PENELITIAN	14
3.1 Bagan Alir Penelitian	14
3.2 Metode Penelitian	15
3.3 Tahapan Penelitian	15
3.4 Lokasi dan Waktu Penelitian	16
3.5 Sumber dan Teknik Pengambilan Data	17

3.5.1	Data Primer	17
3.5.2	Data Sekunder	17
3.6	Alat Dan Bahan	17
3.6.1	Alat	17
3.6.2	Bahan	19
3.6.3	Jumlah Benda Uji	20
3.7	Langkah-Langkah Pemeriksaan Agregat	20
3.7.1	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	20
3.7.2	Analisa Gradasi Agregat	21
3.7.3	Kadar Lumpur Agregat	21
3.7.4	Berat Isi Agregat	22
3.7.5	Kadar Air Agregat	22
3.8	Limbah Beton	23
3.9	Mix Design	24
3.10	Pembuatan Benda Uji	24
3.11	Pemeriksaan Slump Test	25
3.12	Perawatan (Curing) Benda Uji	26
3.13	Kuat Tekan Beton	27
3.14	Modulus Elastisitas Beton	28
	BAB 4 PEMBAHASAN DAN HASIL	29
4.1	Hasil dan Data Analisa Pemeriksaan Material Agregat	29
4.2	Agregat Halus	30
4.2.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air	30
4.2.2	Analisa Gradasi Agregat Halus	31
4.2.3	Kadar Lumpur Agregat Halus	33
4.2.4	Berat Isi Agregat Halus	33
4.2.5	Kadar Air Agregat Halus	34
4.3	Pemeriksaan Agregat Kasar	34
4.3.1	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	34
4.3.2	Analisa Gradasi Agregat Kasar	35
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 Mix Design Beton Normal Mutu Sedang	39
4.5 Kebutuhan Bahan	43
4.6 Pengujian Slump Test (Slump Rencana 75-150mm)	45
4.7 Hasil dan Analisa Penyerapan Air	47
4.8 Pengujian Kuat Tekan Beton	50
4.9 Pengujian Modulus Elastisitas Beton	54
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
FOTO DOKUMENTASI	61

DAFTAR TABEL

- Tabel 2.1 Batas gradasi agregat kasar (SNI 03-2834, 2000).
- Tabel 2.2 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 4.26 Hasil nilai pengujian kuat tekan beton umur 28 hari
- Tabel 4.27 Hasil nilai pengujian modulus elastisitas 14 hari .
- Tabel 4.28 Hasil nilai pengujian modulus elastisitas 21 hari
- Tabel 4.29 Hasil nilai pengujian modulus elastisitas 28 hari .

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 Mesin kuat Tekan Beton
- Gambar 2.2 Batas gradasi agregat.
- Gambar 3.1 Bagan alir metode penelitian.
- Gambar 3.2 Limbah beton dari batching plant PT. Rapi Arjasa..
- Gambar 3.3 Limbah beton yang dipergunakan dalam penelitian.
- Gambar 3.4 Pembuatan beton yang sudah didalam cetakan silinder 15x30 cm.
- Gambar 3.5 Proses pengujian slump test.
- Gambar 3.6 Pengujian kuat tekan (compression test).
- 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 nilai hasil modulus elastisitas 14 hari
- Gambar 4.11 Grafik nilai hasil modulus elastisitas 21 hari
- Gambar 4.12 Grafik nilai hasil modulus elastisitas 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
w	= Faktor air semen rencana
\bar{c}	
A	= Luas penampang benda uji (mm^2)
W_g	= Jumlah agregat kasar (kg/m^3)
W_{gl}	= Berat isi agregat kasar (kg/m^3)
W_s	= Jumlah agregat halus (kg/m^3)
W_{sl}	= Berat isi agregat halus (kg/m^3)
C	= Jumlah semen (kg/m^3)
W_f	= Jumlah limbah beton dibutuhkan (kg/m^3)
W_{wc}	= Jumlah air yang dibutuhkan untuk semen (kg/m^3)
a	= Perbandingan agregat kasar dan agregat halus (%)
\bar{s}	
$A\%$	= Persentase limbah beton yang digu
E_c	= Modulus Elastisitas

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berkembangnya ilmu dan kemajuan teknologi yang sangat pesat berpengaruh pada perkembangan teknologi pada beton pemanfaatan limbah beton sisa uji coba di manfaatkan kembali untuk pembuatan beton baru, yang berguna sebagai pengurangan limbah beton sisa pakai dan mengurangi limbah beton yang berserakan dan menjadikan beton baru yang bisa digunakan kembali.

Beton saat ini telah menjadi salah satu material utama pada bangunan yang sangat penting untuk memenuhi kebutuhan industri properti dan bangunan sipil. Dalam pelbagai bangunan infrastruktur yang ada di dunia ini, beton yang dibuat dengan menggunakan semen Portland menjadi material terbesar yang paling banyak digunakan dibandingkan material lain seperti baja, kayu ataupun bambu. Industri beton merupakan pengguna sumber daya alam terbesar di dunia. Beton yang telah mengeras merupakan material gabungan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, semen dan admixture atau bahan tambah jika dibutuhkan (Ahmad, 2018).

Beton merupakan campuran material-material pembentuk beton, yaitu: agregat halus, agregat kasar, semen, dan air dengan perbandingan tertentu dengan atau tanpa bahan tambahan. Beton sebagai salah satu bagian konstruksi yang penting, dimana pemakaian dan kegunaannya yang begitu luas dan umum. Beton merupakan bahan yang sangat bervariasi, kualitasnya dapat diperoleh dengan berbagai komposisi campuran dan tata cara pembuatannya. Kualitas beton juga sangat ditentukan dari tata cara perawatannya (Saputra & Hepiyanto, 2017).

Beton terbuat dari campuran semen, agregat kasar, agregat halus dan air dalam jumlah tertentu yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen. Hampir 70% bagian beton berasal dari agregat (Candra et al., 2020).

Penggunaan beton sebagai bahan bangunan telah digunakan sejak ditemukannya semen pada abad ke-18. Perkembangan beton demikian pesat karena memiliki beberapa kelebihan, diantaranya harga relatif murah, bahan baku

mudah diperoleh, tahan terhadap temperatur yang tinggi, tidak mengalami pembusukan, mudah dibentuk, biaya pemeliharaan yang kecil dan proses pembuatan beton yang relatif mudah (Arman A, 2018).

Dalam pemanfaatan limbah beton yang berguna untuk mengurangi sisa beton dan bermanfaat untuk mengurangi kerusakan lingkungan yang di akibatkan berseraknya limbah beton yang tidak dapat di daurulangkan maka dari itu penelitian ini mencoba untuk memanfaatkan limbah beton sisa pakai untuk pembuatan beton baru yang dapat digunakan untuk beton konvensional.

Menurut Suharwanto (2017) “Kekuatan Recycle Concrete Aggregate (RCA) menurunkan kekuatan tekan dari beton alami. Penurunan kekuatan tekan untuk beton normal adalah sekitar 20% - 25% di bawah kekuatan tekan beton asli dan sekitar 26% - 35% untuk beton mutu tinggi.” sehingga perlu dilakukan penelitian ulang dengan bahan tambah yang bisa menaikkan kuat tekan beton sesuai kuat tekan rencana, agar beton dapat digunakan untuk konstruksi bangunan, perkerasan jalan raya, dan pekerjaan teknik sipil lainnya.

Dilihat dari semakin banyaknya limbah beton yang tidak dapat di pergunakan dari suatu produksi pabrikasi atau perorangan banyak yang mencoba memanfaatkan limbah beton untuk dapat di pergunakan kembali dan mencoba mencampurkan dengan campuran pembuatan beton baru, namun dalam pencampuran itu tidak menghilangkan sifat asli suatu beton yang pada umumnya dipergunakan untuk kebutuhan industri dan perorangan.

Pengujian yang akan saya lakukan kedepannya terhadap beton campuran ini adalah untuk pengujian modulus elastisitas 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 saya 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 dipergunakan kembali pada bahan pencampuran pembuatan beton.

2. Bagaimana hasil nilai pada uji modulus elastisitas yang menggunakan substitusi limbah beton pada campuran 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 berasal dari hasil uji lab kuat tekan beton *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 28 hari untuk semua variasi model benda uji silinder.
6. Melakukan pengujian modulus elastisitas beton setelah umur 28 hari perendaman

1.4 Tujuan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui apakah limbah beton dari hasil uji kuat tekan dapat dipergunakan kembali.
2. Melakukan pengujian modulus elastisitas yang menggunakan substitusi limbah beton pada campuran agregat kasar.

1.5 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini diharapkan menjadi manfaat dan gagasan terbaru untuk suatu penelitian bagi kemajuan teknologi beton selanjutnya dengan suatu

penggunaan limbah beton yang berasal dari hasil uji modulus elastisitas 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.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Beton

Beton terdiri atas agregat, semen dan air yang dicampur bersama-sama dalam keadaan plastis dan mudah untuk dikerjakan. Karena sifat ini menyebabkan beton mudah untuk dibentuk sesuai dengan keinginan pengguna. Sesaat setelah pencampuran, pada adukan terjadi reaksi kimia yang pada umumnya bersifat hidrasi dan menghasilkan suatu pengerasan dan penambahan kekuatan. Menurut Kardiono beton pada dasarnya adalah campuran yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus yang dicampur dengan air dan semen sebagai pengikat dan pengisi antara agregat kasar dan agregat halus serta kadang-kadang ditambahkan additive. Pada saat keras, beton diharapkan mampu memikul beban sehingga sifat utama yang harus dimiliki oleh beton adalah kekuatannya. Kekuatan beton terutama dipengaruhi oleh banyaknya air dan semen yang digunakan atau tergantung pada faktor air semen dan derajat kekompakannya. Adapun faktor yang mempengaruhi kekuatan beton adalah perbandingan berat air dan semen, tipe dan gradasi agregat, kualitas semen, dan perawatan (curing) (Dharmawan, Oktarina, and Safitri 2017).

2.2 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada deformasi yang elastis, yang mana modulus elastisitas adalah ukuran kekuatan atau kekakuan material untuk berubah bentuk dan kembali ke bentuk semula ketika diberi gaya (Kuntari et al., 2019).

Modulus elastisitas adalah kemiringan kurva tegangan-regangan di dalam daerah elastis linier pada sekitar 40% beban puncak. Modulus elastis yang besar menunjukkan kemampuan menahan tegangan yang cukup besar dalam kondisi regangan yang masih kecil, artinya bahwa beton tersebut mampu menahan tegangan yang cukup besar akibat beban yang terjadi pada suatu regangan kecil (Sidik, 2010).

Modulus elastisitas suatu bahan sangat erat hubungannya dengan kekakuan suatu bahan dalam menerima beban. Semakin tinggi modulus elastisitas, semakin kecil lendutan yang mungkin terjadi. Modulus elastisitas besar menunjukkan kemampuan beton untuk menahan suatu beban yang besar dengan kondisi regangan yang kecil. Semakin tinggi nilai kuat tekan beton, akan semakin tinggi pula modulus elastisitasnya. Penggunaan bahan tambah pada beton dapat meningkatkan kualitas beton.

Tolak ukur yang umum dari sifat elastis suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per satuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan itu. Berbeda dengan baja, maka modulus elastisitas beton adalah berubah-ubah menurut kekuatan. Modulus elastisitas juga tergantung pada umur beton, sifat sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. Selanjutnya, karena beton memperlihatkan deformasi yang tetap (permanen) sekalipun dengan beban yang kecil, ada beberapa macam definisi untuk modulus elastisitas. ASTM C 469 juga menggunakan rumus yang sama dengan SNI 03-4169-1996 dalam menghitung nilai modulus elastisitas. Perbedaannya jika perhitungan menggunakan ASTM C 469 perpendekan yang terbaca pada kompresometer terlebih dulu dibagi dua baru dilakukan analisis modulus elastisitasnya.

Sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 digunakan rumus nilai modulus elastisitas beton dengan mempertimbangkan unsur berat isi beton, untuk W_c diantara 1500 dan 2500 kg/m³ rumus yang digunakan adalah:

sedang untuk beton normal adalah:

$$E_c = 4700\sqrt{f'c'} \dots\dots\dots(2.1)$$

Contoh gambar alat kuat tekan beton :



Gambar alat 21: CTM (Compression Testing Machine)

2.3 Sifat-Sifat Beton

Beton merupakan salah satu komponen struktur yang memiliki berbagai sifat. Sifat beton sangat rentan untuk berubah, terutama sifat pada beton segar yang bersifat plastis dan mudah dibentuk. Sedangkan beton padat bersifat keras dan cenderung susah untuk dibentuk. Beberapa sifat yang mempengaruhi beton yang harus diperhatikan adalah *workability* atau kelecakan dan nilai slump. Kedua sifat tersebut dapat berpengaruh pada sifat beton segar yang lain seperti segregasi dan *bleeding*. Syarat membuat beton berkekuatan tertentu dan bermutu baik, harus dapat dikerjakan dengan baik dan dipadatkan dengan sempurna sehingga kekuatan dan mutu beton yang dikehendaki dapat dicapai. Adapun sifat-sifat beton segar adalah:

1. *Workability* adalah tingkat kemudahan beton untuk ditempatkan, dipadatkan sehingga tidak ada udara yang terjebak tanpa terjadi pemisahan agregat (segregasi) dan mengeluarkan air yang berlebihan (*bleeding*). Untuk mengukur *workability* beton yang paling sering digunakan metode slump test, hasil yang didapat dari pengukuran tinggi keruntuhan dari uji kerucut Abrams yang dinyatakan dalam centimeter. Untuk beton yang kental *workability* sulit, angka slump nya di kisaran 0-8 cm dan yang pengerjaannya lebih mudah pada slump 8-12 cm. Menurut (SNI 1972:2008) *workability* beton merupakan kemudahan pengerjaan beton segar. (Pane et al., 2015)
2. *Bleeding* adalah peristiwa keluarnya air dalam beton segar ke permukaan akibat proses pengendapan bahan-bahan padat dari beton (SNI 4156:2008).

3. Segregasi adalah peristiwa terpisahnya antara pasta semen dan agregat dalam satu adukan (SNI 03-3976-1995).(Pane et al., 2015).

2.4 Material Pembuatan Beton

Material yang digunakan pada campuran beton yang dipakai sebagai bahan penyusun utama yaitu semen, agregat dan air dan bila mana bahan pembuatan beton pada campuran ini, akan digunakan abu sekam padi dan kapur sebagai pengganti semen. Dalam pembuatan campuran beton, material yang digunakan harus mempunyai kualitas yang baik dan memenuhi syarat yang telah ditentukan sehingga menghasilkan beton yang mempunyai kuat tekan yang tinggi. Materialmaterial yang akan digunakan antara lain:

2.4.1 Agregat

Agregat merupakan material yang ditambahkan ke dalam pasta semen dalam proses pembuatan beton untuk mengurangi pemakaian semen. Hal ini dilakukan karena agregat lebih murah dibandingkan dengan semen serta 19 penambahan agregat akan membentuk beton dengan volume yang lebih stabil dan durabilitas yang lebih baik.(M.W. Tjaronge et al., 2003). Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat berukuran besar. (Nawy, 1998). Dua jenis agregat adalah :

1. Agregat kasar (kerikil, batu pecah)
2. Agregat halus (pasir)

Menurut SNI 03-2847-2002 agregat adalah material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku pijar, yang di pakai bersama - sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidraulik. Kualitas agregat sendiri sangat menentukan kuat beton mengingat agregat menempati 70 – 75% dari total volume keseluruhan beton.

Ditinjau dari berat jenisnya agregat dibedakan menjadi tiga macam:

1. Agregat Ringan. Agregat ini adalah agregat yang memiliki berat jenis kurang dari 2,0, dan biasanya digunakan beton non structural.

2. Agregat Normal. Agregat normal adalah agregat yang memiliki berat jenis antara 2,5 sampai 2,7. Beton yang dihasilkan memiliki berat jenis sekitar 2,3 dengan kuat tekan antara 15 MPa sampai 40 MPa.
3. Agregat Berat. Agregat ini memiliki berat jenis lebih dari 2,8. Beton yang dihasilkan juga memiliki berat jenis tinggi (sampai 5,0), yang efektif sebagai pelindung sinar radiasi sinar X.

Agregat yang digunakan untuk beton harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. Ketentuan dan persyaratan dari SII 0052-80 “Mutu dan Cara Uji Agregat Beton”. Bila tidak tercakup dalam SII 0052- 80 maka agregat harus memenuhi ASTM C33 “*Specification for Structural Concrete Agregates*”.
- b. Ketentuan dari ASTM C330 “*Specification for Light Weight Agregates for Structural Concrete*”, untuk agregat dan struktur beton. Berdasarkan ukurannya, agregat dapat dibedakan menjadi : Agregat halus, diameter 0 – 5 mm disebut pasir, yang dibedakan Pasir halus : Ø 0 – 1 mm Pasir kasar : Ø 1 – 5 mm Agregat kasar, diameter ≥ 5 mm, biasanya berukuran antara 5 – 40 mm yang disebut kerikil. (Moniaga, 2018).

Ukuran antara agregat halus dengan agregat kasar yaitu 4.75 mm (Berdasarkan Standar ASTM), dimana agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 4.80 mm (4.75 mm) dan agregat halus adalah batuan yang lebih kecil dari 4.80 mm (4.75 mm). Agregat dengan ukuran lebih besar dari 4.80 mm dibagi lagi menjadi dua : yang berdiameter antara 4.80 - 40 mm disebut 20 kerikil beton dan yang lebih dari 40 mm disebut kerikil kasar.(Universitas et al., 2019).

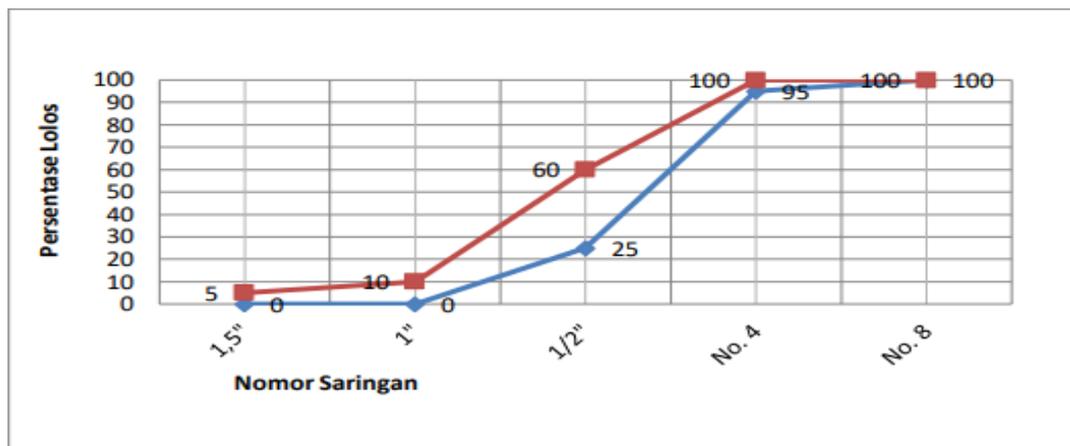
2.4.2 Agregat Kasar

Menurut SNI 1970-2008, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No.4) sampai 40 mm (No. 1½ inci). 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, Zhao, Zhang, & Shang, 2016). 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). (Boby et al., 2022)

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

2.4.3 Limbah Beton

Limbah beton adalah material yang sudah tidak dipakai lagi untuk konstruksi. Limbah beton merupakan sisa-sisa atau limbah dari reruntuhan bangunan akibat gempa, bongkaran bangunan, akibat kebakaran, hasil dari pengujian laboratorium teknik sipil maupun limbah beton yang berasal dari pabrik beton pracetak. Limbah beton dengan pori - pori yang padat dan tingkat kekerasan yang tinggi tergantung dengan mutu dari beton yang direncanakan.

Sebelum penelitian ini dilakukan, telah banyak dilakukan penelitian mengenai penggunaan limbah beton sebagai material konstruksi. Hasil penelitian sebelumnya adalah nilai kuat tekan CTB limbah beton umur 7 hari memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010, sedangkan CTB umur 28 hari tidak memenuhi. (Rahman, 2014), nilai kadar limbah beton pada campuran AC-WC gradasi kasar yang optimum adalah sebesar 2,5% terhadap total agregat kasar. (Andhikata, 2013), dan Vol. 22, No. 1, Maret 2020 nilai kadar limbah beton pada campuran Hot Roller Sheet Base yang optimum adalah sebesar 10% terhadap total agregat kasar (Rahmad, 2016).

2.5 Penelitian Terdahulu

1. Penelitian 1- Risamawarni, Erniati bachtiar, Fatmawaty Rachim 2020 Berjudul: Pengaruh Substitusi Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Curing Air Laut. menyimpulkan hasil penelitian upaya

mengurangi dampak eksploitasi alam adalah menggunakan kembali limbah beton untuk penggunaan beton baru. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh limbah beton sebagai substitusi agregat kasar terhadap kuat tekan beton curing air laut dan curing air tawar. Mix design beton menggunakan metode Development Of Environment (DOE). Ada 5 Variasi jumlah limbah beton yang digunakan sebagai substitusi agregat kasar yakni sebesar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Setiap variasi limbah beton terdiri dari 3 buah benda uji. Disamping variasi persentase limbah beton juga variasi curing air laut dan air tawar. Kuat tekan beton curing air tawar yang menggunakan substitusi beton 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% berturut-turut sebesar, 31,85 MPa, 30,57 MPa, 29,30 MPa, 27,60 MPa, 22,08 MPa. Sedangkan kuat tekan beton curing air laut pada variasi limbah beton berturut-turut sebesar, 33,12 MPa, 28,87 MPa, 26,33MPa, 22,93 MPa, 20,38 MPa. Semakin bertambahnya limbah beton maka nilai kuat tekan baik pada beton air laut maupun pada pengolahan air tawar menurun.

(Risamawarni, Erniati bachtiar, Fatmawaty Rachim 2020).

2. Penelitian 2 - Soelarsol¹⁾ Baehaki²⁾ Nur Fatah Sidik³⁾ 2016

Berjudul: Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas. menyimpulkan pada penelitian ini merencanakan beton normal dengan kuat tekan yang ditargetkan adalah 25 MPa dan menggunakan slump 30-60 mm serta menggunakan Portland Pozzolan Cement (PPC). Penggunaan proporsi agregat limbah dalam penelitian ini adalah 25%, 50%, 75% dan 100 % dari berat total agregat alami dengan umur pengujian 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Jumlah benda uji 48 buah (3 benda uji untuk setiap umur pengujian dan proporsi). Hasil kuat tekan dan modulus elastisitas akan dibandingkan dengan nilai teoritis. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar penggunaan limbah beton, semakin besar penurunan yang terjadi pada nilai kuat tekan dan modulus elastisitas. Berdasarkan hasil pengujian, penggunaan limbah pada beton dengan proporsi 25% menunjukkan penurunan rata-rata nilai kuat tekan dan modulus elastisitas yang cukup signifikan yaitu 45,39% dan 77,35%. Berlanjut proporsi berikutnya yaitu 50% menunjukkan

penurunan 56,99% dan 77,45%. Proporsi 75% menunjukkan penurunan 61,65% dan 79,26%. Proporsi 100% menunjukkan penurunan 66,62% dan 79,12%. Proporsi paling optimum dari penelitian ini adalah proporsi limbah 25%. Variabilitas kualitas limbah mengakibatkan perbedaan sifat-sifat material beton yang dihasilkan dan cenderung menurunkan kuat tekan dan modulus elastisitas.

(Soelarso¹, Baehaki², Nur Fatah Sidik³ 2016).

3. Penelitian 3 - Miftakhul Mukhasanah, tahun 2019

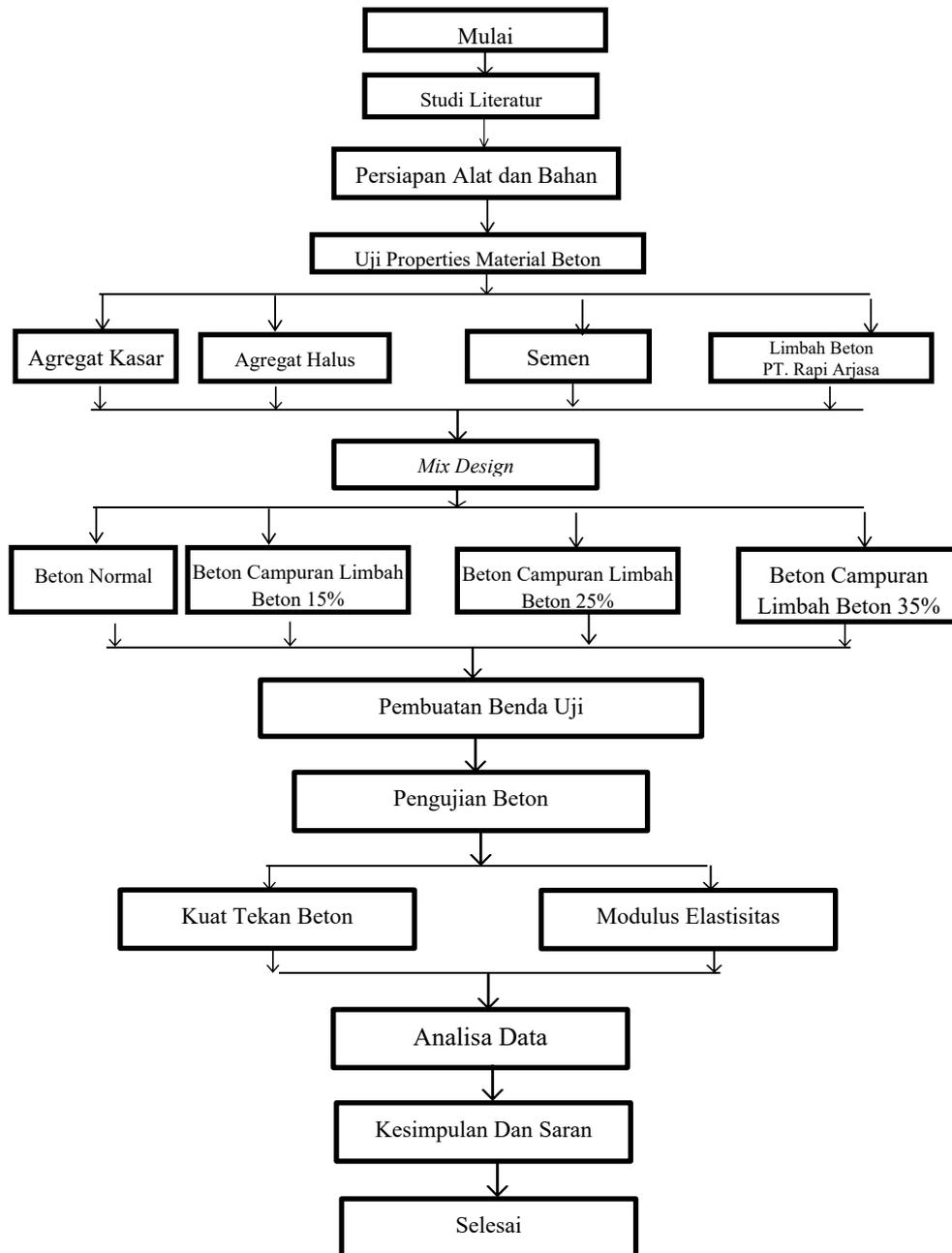
Berjudul : Pemanfaatan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar terhadap high volume fly ash concrete (hvfac). Penelitian ini merencanakan beton mutu tinggi dengan kuat tekan yang direncanakan adalah 40 MPa. Pecahan limbah beton digunakan sebagai substitusi agregat kasar batu pecah dengan variasi sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Dan menggunakan fly ash sebesar 50% sebagai substitusi agregat halus. Penggunaan superplasticizer sebesar 0,4% dari berat semen. Ukuran benda uji yang digunakan diameter dan tinggi yaitu 15 cm dan 30 cm , 10 cm dan 20 cm. Pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan, modulus elastisitas, dan penyerapan air. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa semakin besar penggunaan limbah beton, semakin mengalami penurunan yang terjadi pada nilai kuat tekan beton dan modulus elastisitas beton. Berdasarkan hasil pengujian umur 28 hari diperoleh nilai kuat tekan beton dengan murni agregat alami sebesar 43,3 MPa. Penggantian agregat kasar alami dengan agregat kasar daur ulang dengan kadar 25% menunjukkan kenaikan nilai kuat tekan yaitu 44 MPa, berlanjut pada penurunan rasio penggantian berikutnya yaitu 50% ($f_c = 39,8$ MPa), 75% ($f_c = 35,3$ MPa), 100% ($f_c = 30,5$ MPa). Nilai kuat tekan umur 56 hari yaitu 0% ($f_c = 44$ MPa), 25% ($f_c = 50,2$ MPa), 50% ($f_c = 45,3$ MPa), 75% ($f_c = 43,6$ MPa), 100% ($f_c = 38,8$ MPa), Nilai modulus elastisitas beton juga menurun seiring dengan penurunan kuat tekannya. Dengan porsi pergantian yang sama terjadi penurunan yaitu 0% ($E_c = 24380,00$ MPa), 25% ($E_c = 24752,00$ MPa), 50% ($E_c = 23709,50$ MPa), 75% ($E_c = 23696,50$ MPa), 100% ($E_c = 22762,50$ MPa). Proporsi paling optimum dari penelitian ini adalah proporsi limbah 25%. (Miftakhul Mukhasanah, tahun 2019).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Bagan Alir Penelitian

Adapun bagan alir penelitian pengaruh substitusi limbah sebagai analisis modulus elastisitas beton sebagai berikut:



Gambar 3.1. Bagan alir metode penelitian.

3.2 Metode Penelitian

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

3.3 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 Beton dan Air). Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

2. Pemeriksaan Bahan Material Penyusun Beton. 7

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, abu sekam padi, dan kapur. 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 ACI 211.1-91. 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 adonan 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 di angkat dari cetakan lalu dilakukan perawatan beton (*curing*). Perawatan tersebut dilakukan dengan perendaman beton pada bak perendam yang memiliki estimasi waktu 28 hari. Setelah selesai perawatan selama 28 hari, 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.

3.4 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. Rapi Arjasa Kota Binjai. Waktu penelitian yang dilakukan direncanakan kurang lebih selama 3 bulan dan dimulai pada awal bulan Juli.

3.5 Sumber dan Teknik Pengambilan Data

3.5.1 Data Primer

Data yang diperoleh dari hasil penelitian di Laboratorium, yaitu :

1. Analisa saringan agregat (SNI 03-1968, 2008).
2. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar (SNI 1969, 2008).

3. Berat jenis dan penyerapan agregat halus (SNI 1970, 2008).
4. Pemeriksaan berat isi dan agregat (SNI 03-4804, 1998).
5. Pemeriksaan kadar air agregat (SNI 1971, 2011).
6. Pemeriksaan kadar lumpur (SNI 03-4141, 1996).
7. Perencanaan campuran beton (*Mix Design*) (ACI 211.1-91).
8. Pembuatan dan perawatan benda uji beton (SNI 2493:2011).
9. Uji kuat tekan beton (SNI 1974:2011).

3.5.2 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. ZAPeraturan SNI-03-2834-2000 tentang tata cara pembuatan rencana beton normal.
2. Peraturan SNI 1974:2011 tentang metode uji kuat tekan beton silinder.

3.6 Alat dan Bahan

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang maksimal, maka diperlukan peralatan dan bahan yang berkualitas untuk memenuhi persyaratan yang berlaku. Dan ada beberapa alat yang telah tersedia di laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Alat-alat yang digunakan sebagai berikut :

3.6.1 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 pasir yang digunakan.
2. Timbangan digital, berfungsi sebagai alat untuk menimbang berat 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.

3.6.2 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 20 mm.

2. Agregat Halus

Agregat Halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu kerikil 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 Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang layak minum dan sesuai dengan syarat-syarat penggunaan air pada beton.

3.6.3 Jumlah Benda Uji

Benda uji dibuat menggunakan cetakan berbentuk silinder dengan diameter tinggi 30 cm, lebar 15 cm yang berjumlah 12 buah. Untuk pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas. 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	

3.7 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.

3.7.1 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 diletakkan didalam keranjang, lalu benda uji di gunjangkan dengan mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air (*Ba*). Suhu air diukur untuk menyesuaikan perhitungan kepada suhu standar 25 °C

3.7.2 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.

3.7.3 Kadar Lumpur Agregat

Metode pengujian gumpalan lempung 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 pencuc 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 kedalam wadah, lalu seluruh bahan tersebut dimasukkan kedalam 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 ($W4 = W3 - W2$).

3.7.4 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 ($W3 = W2 - W1$).

3.7.5 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 (W1).
2. Kemudian benda uji dimasukkan kedalam talam lalu ditimbang dan dicatat beratnya (W2).
3. Lalu dihitung berat benda ujinya ($W3 = W2 - W1$).

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 ($W_5 = W_4 - W_1$).

3.8 Limbah 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 3.3: Limbah uji beton silinder yang dipergunakan dalam penelitian.

3.9 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) 211.1-91 adalah sebagai berikut:

- a. Rencanakan kuat tekan yang dikehendaki.

- b. Tetapkan faktor air semen berdasarkan kuat tekan rata-rata pada umur yang dikehendaki dan keawetannya (berdasarkan jenis struktur dan kondisi lingkungan).
- c. Berdasarkan jenis strukturnya, tetapkan nilai slump dan ukuran maksimum agregatnya. Slump yang dianjurkan pada jenis pekerjaan berkisar antara 20 mm - 100 mm.
- d. Tetapkan jumlah air yang diperlukan, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump yang diinginkan.
- e. Hitungan semen yang diperlukan, berdasarkan langkah (2) dan (4) di atas.
- f. Tetapkan volume agregat kasar yang diperlukan per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai modulus kehalusan agregat halusya.
- g. 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 sekrup 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. Mendinginkan 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 3.4: Pembuatan beton yang sudah didalam cetakan silinder 15x30 cm

3.11 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.

Dari hasil penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa bertambahnya lama waktu pengadukan akan mempengaruhi turunnya nilai slump, tetapi sebaliknya kandungan udara dalam adukan beton akan bertambah. Jadi nilai slump berpengaruh terhadap besarnya kandungan udara dalam adukan beton. Dengan kata lain bahwa pengaruh lamanya adukan berbanding terbalik terhadap nilai slump, dan berbanding lurus terhadap kandungan udara dalam adukan beton. Waktu pengadukan yang singkat tidak berpengaruh terhadap adanya kandungan udara didalam adukan beton. Sebaliknya bertambahnya agregat halus dalam adukan beton akan berpengaruh terhadap meningkatnya kandungan udara. (Harun Mallisa, 2008)

3.12 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.

3.13 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 3.6: Pengujian kuat tekan (*compression test*)

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

Dengan :

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

P = Besar beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)t 1 KN = 101,9716 kgf

1 MPa = 9,807966 kgf/cm^2

1 kgf/cm^2 = 0,0980665 MPa

3.15 Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dilakukan setelah beton berumur 14,21 dan 28 hari. Benda uji yang digunakan dalam pengujian ini adalah silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 2 buah dengan berbagai variasi. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati besarnya nilai modulus elastisitas beton, Standar pengujian modulus elastisitas beton ini menggunakan Standar SNI T-15-1991-03.

$$E_C = 4700\sqrt{f_c'} \quad (3.2)$$

Keterangan untuk rumus di atas adalah:

E = Modulus elastisitas beton

fc = 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.

Dari hasil penyerapan air 2,67 % maka tidak dapat dipergunakan untuk hasil penyerapan air pada beton normal.

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:

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

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

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

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

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

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

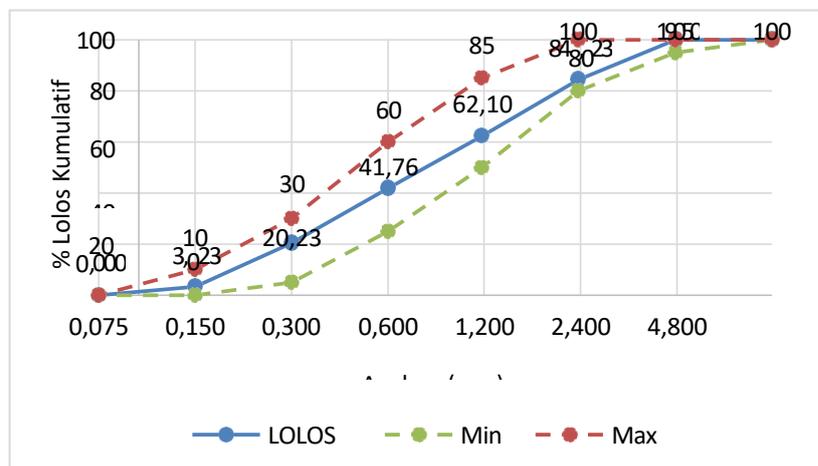
$$\text{No.200 (0,075)} = \frac{55,97}{1731,87} \times 100\% = 3,23\%$$

- Persentase berat kumulatif tertahan:

No.4 (4,75)	= 0	+	0	= 0%
No.8 (2,36)	= 0	+	15,77	= 15,77%
No.16 (1,18)	= 15,77	+	22,13	= 37,9%
No.30 (0,60)	= 37,9	+	20,34	= 58,24%
No.50 (0,30)	= 58,24	+	21,53	= 79,77%
No.100 (0,15)	= 79,77	+	17	= 96,77%
No.200 (0,075)	= 96,77	+	3,23	= 100%

Jumlah persentase kumulatif tertahan = 288,45%

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



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)	Sampe 12 (gr)
Berat benda uji sebelum dioven (gram)	W1	987,5	981,3
Berat benda uji setelah dioven (gram)	W2	971,5	968,9
Kadar Air Benda Uji (%)	$\frac{W1 - W2}{W2} \times 100\%$	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 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:

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

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

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

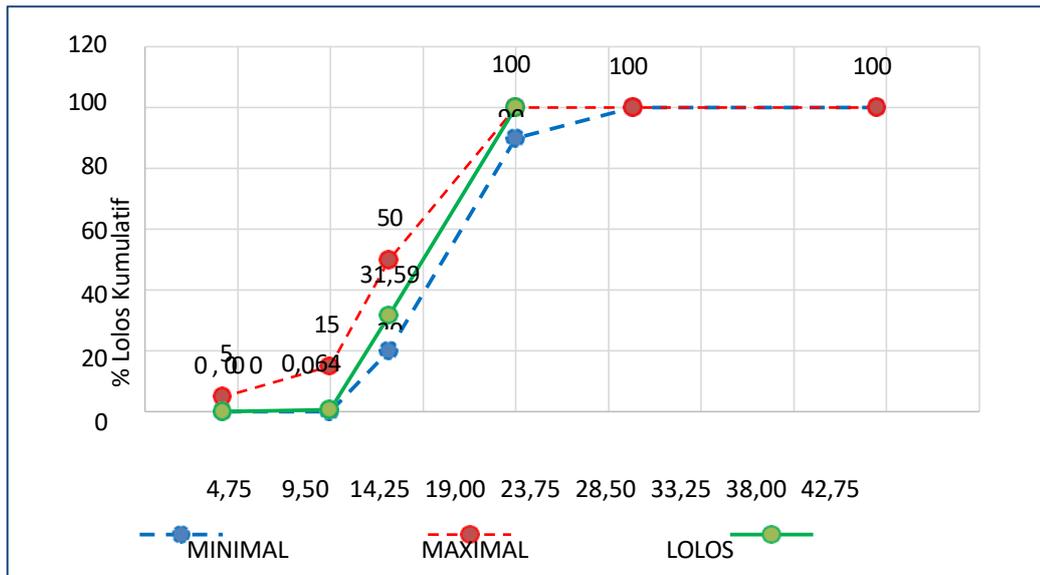
$$\text{No.4 (4,75)} = 99,36 + 0,64 = 100\%$$

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

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

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

$$= 2,68$$



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 *gr/cm³*, nilai ini masih dalam batas yang diijinkan yaitu minimal 1,2 *gr/cm³*(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 4.12. 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}): $f'_{cr} = f'_c + \text{Deviasi standar} + M$
 $= 20 + 5,5 + 9,02$
 $= 34,52 \text{ MPa}$
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.
 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

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

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 selanjutnya < 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					

8. 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.
9. Nilai *slump* yang direncanakan pada penelitian ini menggunakan slump

rencana sebesar 75-150 mm.

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

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

13. Nilai kadar semen maksimum sebesar 384,03 kg/m
14. Faktor air semen yang digunakan dalam *mix design* disesuaikan dengan nilai 0,545.
15. Susunan butir agregat halus ditentukan dari gradasi pasir no 2.
16. Susunan butir agregat kasar ditentukan dari batas gradasi agregat kasar ukuran maksimum 19 mm.
17. Berat isi beton diperoleh sebesar 2270,92 kg/m³.
18. 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 = $\frac{1116}{384,03} = 2,91$

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 kg/m³
2. Agregat halus = 561,65 kg/m³
3. Agregat kasar = 1116 kg/m³

1. Air = 209,5 kg/m³

a. Untuk satu benda uji silinder (kg)

Kebutuhan volume satu benda uji dengan cetakan silinder sebagai berikut:

1. Tinggi cetakan = 30 cm = 0,3 m
2. Lebar cetakan = 15 cm = 0,15 m
3. Volume cetakan = $\pi r^2 t$
= $\frac{22}{7} \times \frac{(0,15)^2}{2} \times 0,30$
= 0,0053 m³

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

- Semen yang dibutuhkan untuk 1 benda uji
= Banyak semen x Volume 1 benda uji
= 384.03 kg/m³ x 0,0053 m³
= 2,035 kg
- Pasir yang dibutuhkan untuk 1 benda uji
= Banyak pasir x Volume 1 benda uji
= 561,65 kg/m³ x 0,0053 m³
= 2,98 kg
- Batu pecah yang dibutuhkan untuk 1 benda uji
= Banyak batu pecah x Volume 1 benda uji
= 1116 kg/m³ x 0,0053 m³
= 5,91 kg
- Air yang dibutuhkan untuk 1 benda uji

$$\begin{aligned}
&= \text{Banyak air} \times \text{Volume 1 benda uji} \\
&= 209,5 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3 \\
&= 1,11 \text{ kg}
\end{aligned}$$

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

Tabel 4.14 Kebutuhan Bahan Setiap Variasi Campuran

NO	Variasi Benda Uji	Volume (m ³)	Semen (Kg)	Agregat kasar (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Limbah beton (Kg)	Air (Kg)
1	Normal	0,0053	2,035	5,91	2,98	-	1,11
2	15%	0,0053	2,035	5,0235	2,98	0,8865	1,11
3	25%	0,0053	2,035	4,4325	2,98	1,4775	1,11
4	35%	0,0053	2,035	3,8415	2,98	2,0685	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:

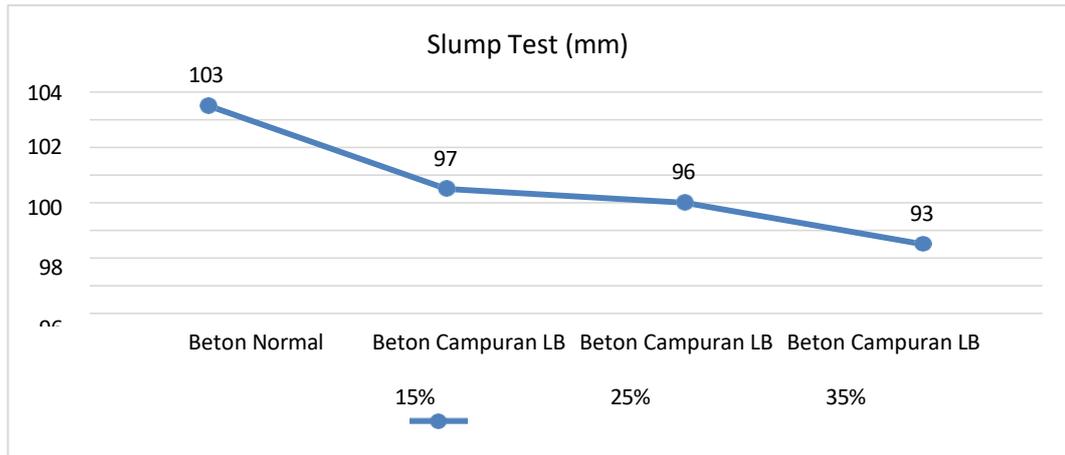
- a. Kadar air agregat.
- b. Kadar lumpur agregat.
- c. Faktor air semen.
- d. Gradasi agregat.
- e. Bahan tambah yang digunakan.

Dalam pengujian ini maka didapatkan hasil data *slump test* dengan melihat beton yang dimasukkan 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.

Hasil nilai Slump rendah pada perencanaan ini disebabkan oleh limbah beton yang mengandung unsur sisa partikel semen yang menyatu pada limbah beton 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%

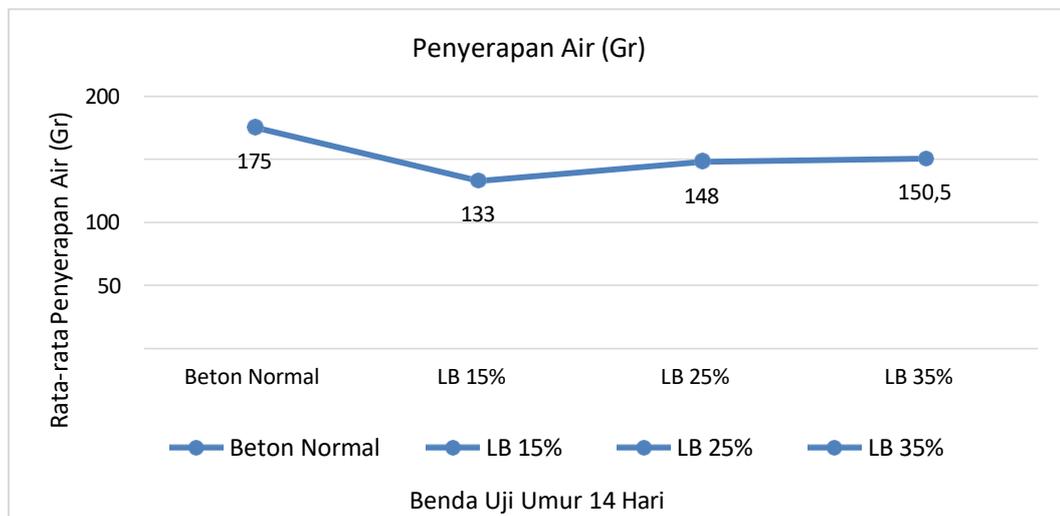
Sampel	Umur Beton	Berat Beton Pada Perendaman		Penyerapan Air Pada Beton (gr)	Rata-rata Penyerapan Air Pada Beton (gr)
		Sebelum (gr)	Sesudah (gr)		
1	14	12537	12688	151	133
2	14	12878	12993	115	

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%

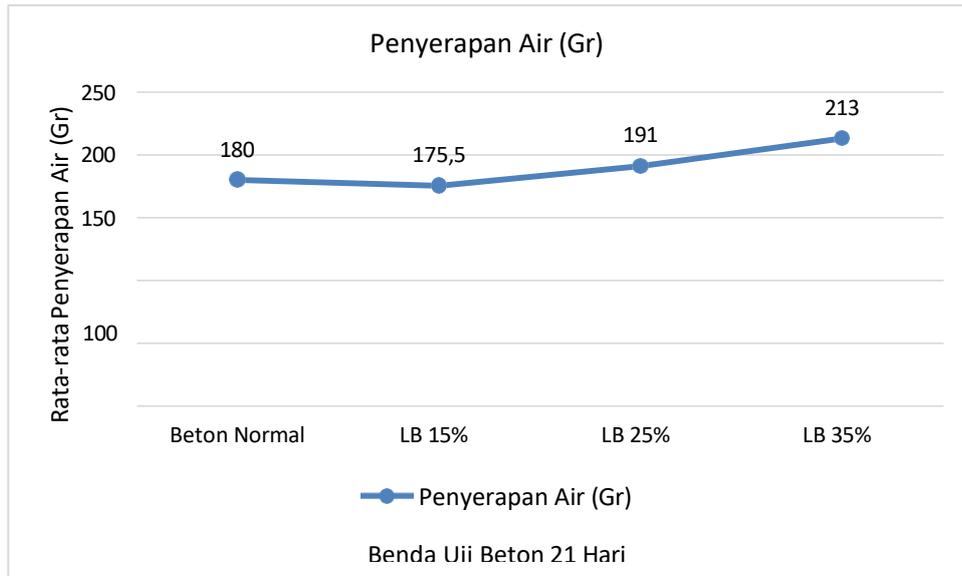
Sampel	Umur Beton	Berat Beton Pada Perendaman		Penyerapan Air Pada Beton (gr)	Rata-rata Penyerapan Air Pada Beton (gr)
		Sebelum (gr)	Sesudah (gr)		
1	21	12547	12716	169	175,5
2	21	12937	13119	182	

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

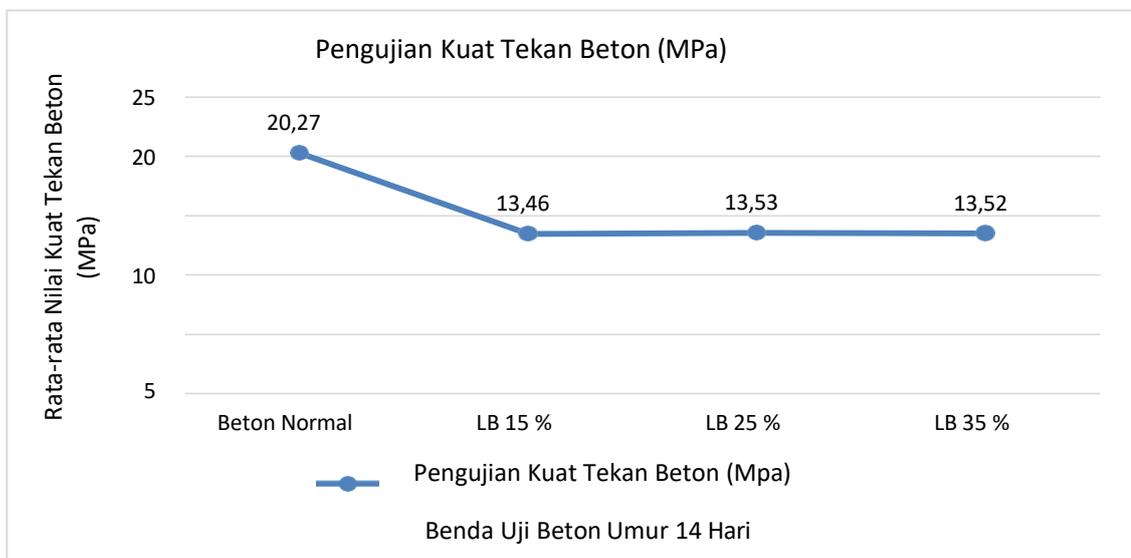
Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan metode SNI 03-1974-2011, pelaksanaan pengujian dilakukan pada saat beton berumur 14 hari, 21, dan 28 hari, dengan menggunakan mesin kuat tekan (*compressive strength test*) yang

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	

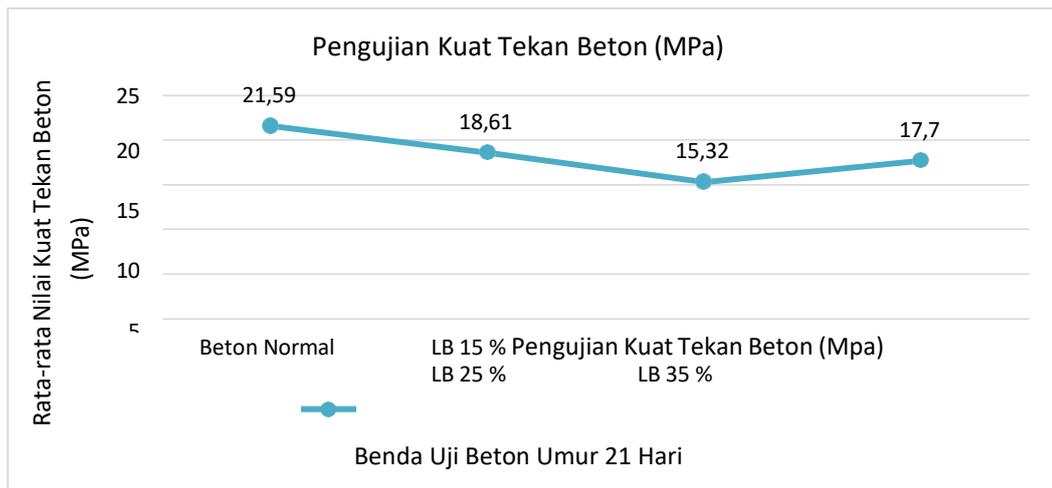
Dari tabel 4.24 maka dapat dilihat perbandingan dari masing-masing nilai yang dihasilkan setiap sampel baik beton normal dengan beton variasi. Untuk grafik yang dihasilkan sebagai berikut:



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	

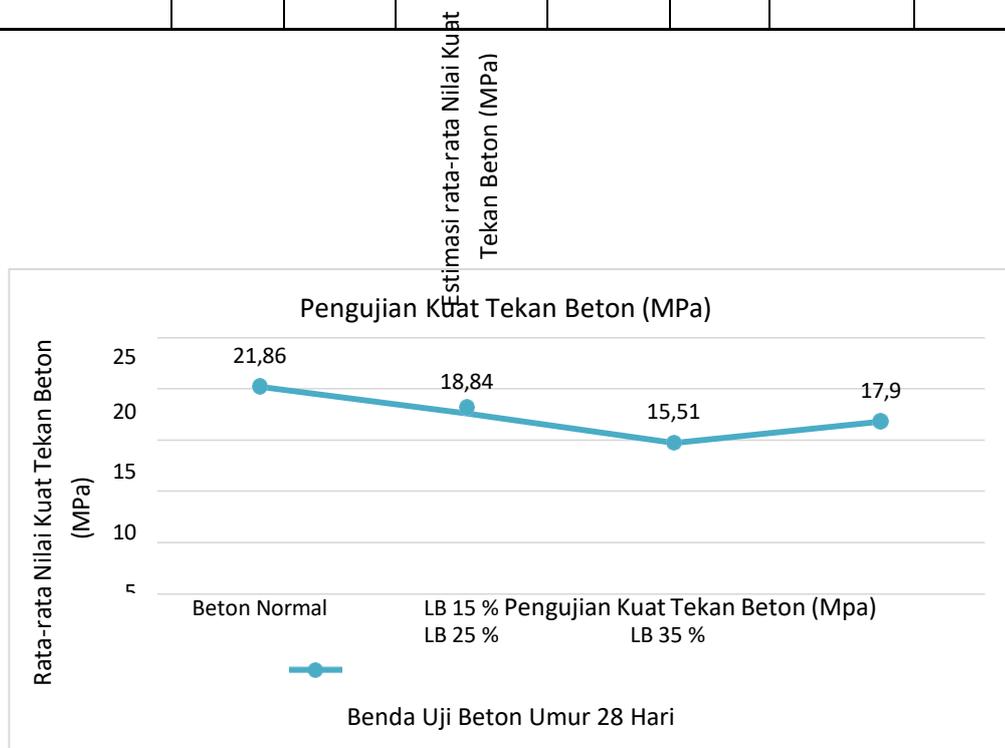


Gambar 4.8: Grafik nilai kuat tekan beton pada umur 21 hari

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 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas atau modulus young adalah kemiringan garis singgung dari diagram tegangan – regangan dalam daerah batas elastis linier dan harganya bergantung pada jenis materialnya.

Mengetahui ketahanan suatu objek ketika diterapkan gaya. Jadi, modulus elastisitas ini dipergunakan untuk mencari tahu seberapa besar rasio objek tersebut dapat berubah (deformasi elastis) ketika mengalami tekanan atau regangan.

Beton pun juga dapat mengalami deformasi elastis dan oleh sebab itu, setiap rumah atau bangunan yang akan dibangun perlu melalui proses perhitungan modulus elastisitas beton. Hal ini guna untuk mencari tahu seberapa besar gaya yang dapat ditumpukan pada beton yang akan digunakan agar rumah yang didirikan dapat Modulus elastisitas merupakan hasil pengukuran yang dilakukan untuk berdiri dengan kokoh.

Adapun rumus modulus elastis yang diberlakukan dalam perhitungan beton normal adalah sebagai berikut:

$$E_C = 4700\sqrt{f_c}$$

Keterangan untuk rumus di atas adalah:

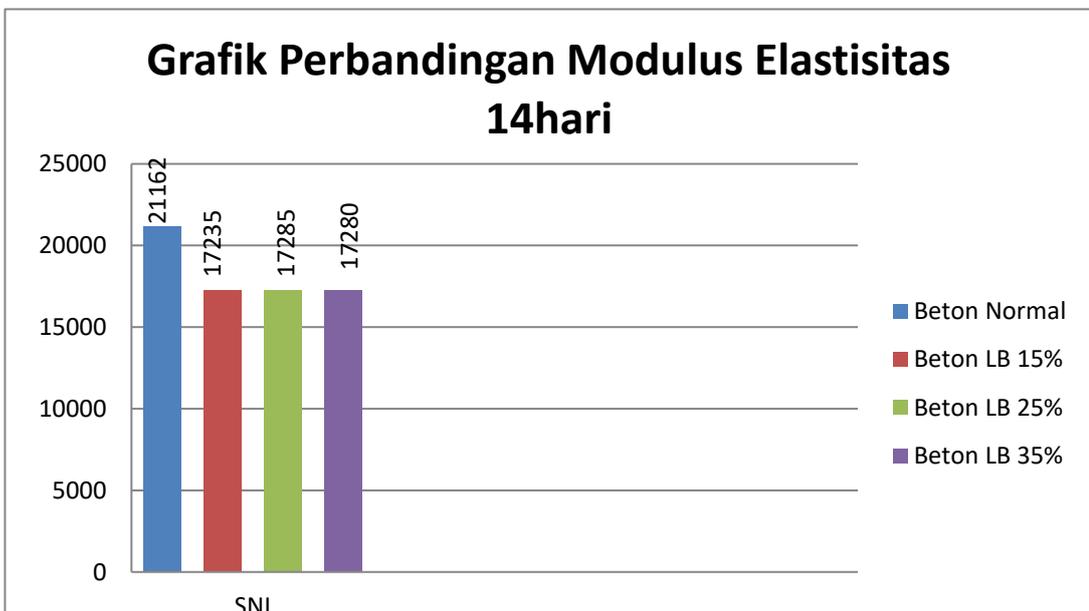
E = Modulus elastisitas beton

f_c = Kuat tekan beton

Perhitungan modulus elastisitas berdasarkan uji kuat tekan beton pada umur 14 hari Metode SNI.

Tabel 4.27 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas.

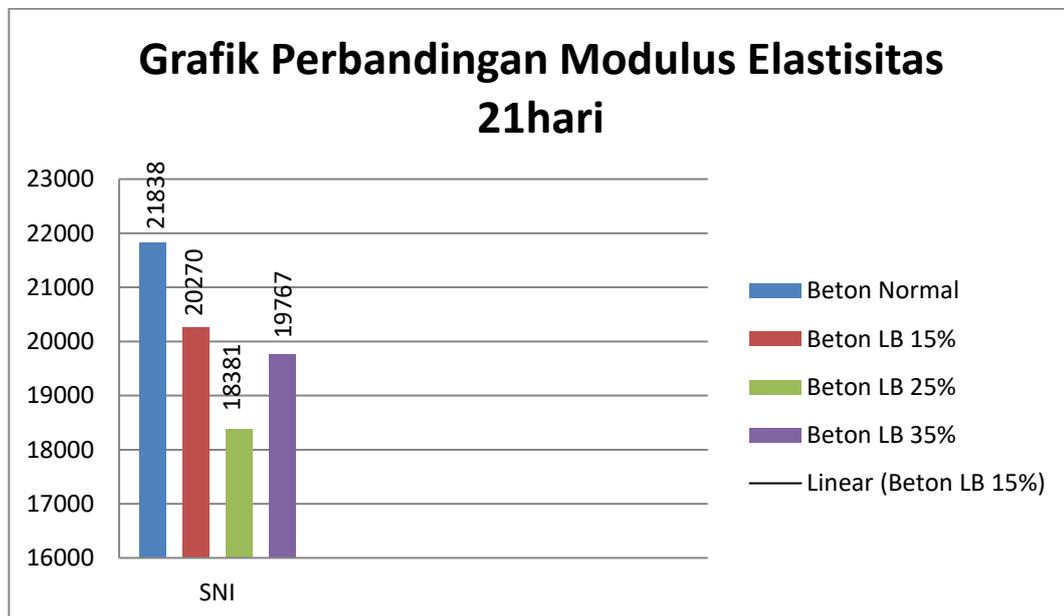
Benda uji	Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)	Modulus Elastisitas Rata-rata (MPa)
1	Beton Normal	20,24	21144	21162
2		20,31	21181	
3	Beton LB 15%	12,88	16867	17235
4		14,03	17604	
5	Beton LB 25%	13,06	16985	17285
6		14	17585	
7	Beton LB 35%	13,24	17101	17280
8		13,8	17459	



Gambar 4.10: Grafik nilai hasil modulus elastisitas 14 hari

Perhitungan modulus elastisitas berdasarkan uji kuat tekan beton pada umur 21 hari Metode SNI

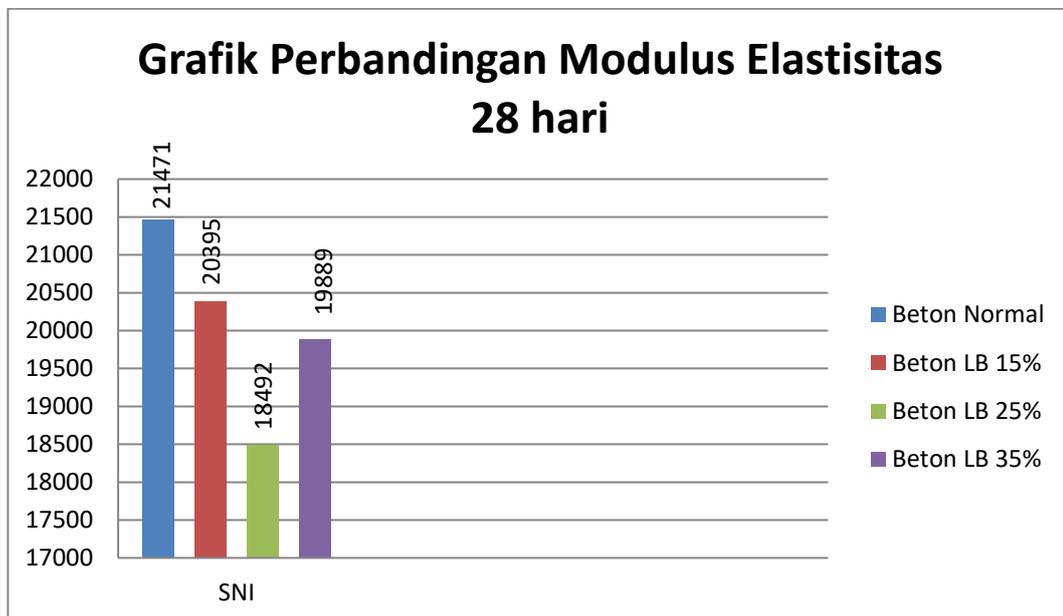
Benda uji	Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)	Modulus Elastisitas Rata-rata (MPa)
1	Beton Normal	21.5	21793	21838
2		21.68	21884	
3	Beton LB 15%	19.16	20572	20270
4		18.05	19968	
5	Beton LB 25%	14.11	17654	18381
6		16.53	19108	
7	Beton LB 35%	16.8	19264	19767
8		18.6	20270	



Gambar 4.11: Grafik nilai hasil modulus elastisitas 21 hari

Perhitungan modulus elastisitas berdasarkan uji kuat tekan beton pada umur 28 hari Metode SNI

Benda uji	Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)	Modulus Elastisitas Rata-rata (MPa)
1	Beton Normal	21,76	21924	21471
2		21,95	21019	
3	Beton LB 15%	19,39	20696	20395
4		18,28	20094	
5	Beton LB 25%	14,28	17760	18492
6		16,73	19224	
7	Beton LB 35%	17,01	19384	19889
8		18,83	20394	



Gambar 4.12: Grafik nilai hasil modulus elastisitas 28 hari

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Nilai modulus elastisitas beton yang diperoleh dari seluruh pengujian sampel yang berjumlah 16 sampel untuk beton normal tercapai mutu rencana pada umur 21 dan 28 hari Pada campuran beton 15% dan yang tidak tercapai dari mutu rencana yaitu pada beton yang umurnya 14 hari menggunakan substitusi limbah beton pada agregat kasar, dimana nilai tersebut hanya mencapai mutu tertinggi rata-rata yaitu 17235 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.
2. Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan limbah beton dapat di pergunakan kembali dalam campuran pembuatan beton, berikut adalah hasil modulus elastisitas beton dari variasi yang di dapat:
 - a. Beton Umur 14 Hari
 1. Limbah beton 15% = 17235 MPa
 2. Limbah beton 25% = 17285 MPa
 3. Limbah beton 35% = 17280 MPa
 - b. Beton umur 21 hari
 1. Limbah beton 15% = 20270 MPa
 2. Limbah beton 25% = 18381 MPa
 3. Limbah beton 35% = 19767 MPa
 - c. Beton umur 28 hari
 1. Limbah beton 15% = 20395 MPa
 2. Limbah beton 25% = 18492 MPa
 3. Limbah beton 35% = 19889 MPa

5.2 Saran

1. Komposisi campuran limbah beton dapat mempengaruhi perolehan nilai modulus elastisitas 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

- Ahmad, S. B. (2018). Investigasi Pengaruh Air Laut Sebagai Air Pencampuran Dan Perawatan Terhadap Sifat Beton. *INTEK: Jurnal Penelitian*, 5(1), 48. <https://doi.org/10.31963/intek.v5i1.200>
- Arman A. (2018). Kajian Kuat Tekan Beton Normal Menggunakan Standart Sni 7656- 2012 Dan Astm C 136-06. *Rang Teknik Journal*, 1(2), 142–148.
- Andhikatama. (2013). Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Campuran AC-WC Gradasi Kasar
- BOBY, D. I. W. A.,A, Studi, P., Sipil, T., Teknik, F., Muhammadiyah, U., & Utara, S. (2022). *PENGARUH PENGGUNAAN ABU SEKAM PADI DAN KAPUR SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEMEN TERHADAP KUAT TARIK PADA BETON*. University Muhammadiyah North Sumatera.
- Candra, A. I., Wahyudiono, H., Anam, S., & Aprillia, D. (2020). Kuat Tekan Beton Fc ' 21 , 7 MPa Menggunakan Water Reducing and High Range Admixtures. *Jurnal CIVILA*, 5(1), 330–340.
- Diwa, B. A. Y. U., Studi, P., Sipil, T., Teknik, F., Muhammadiyah, U., & Utara, S. (2022). *PENGARUH PENGGUNAAN ABU SEKAM PADI DAN KAPUR SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEMEN TERHADAP KUAT TARIK PADA BETON*. University Muhammadiyah North Sumatera.
- Dharmawan, Weka Indra, Devi Oktarina, and Mariana Safitri. 2017. “Media Komunikasi Teknik Sipil.” *Media Komunikasi Teknik Sipil* 22 (1): 35.
- 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.
- Kuntari, H. D., Lingga, A. A., & Supriyadi, A. (2019). Analisis PPerbandingan Desain Campuran Beton Normal Menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656 : 2012 dengan Kuat Tekan 30 MPa. *Jurnal Elektronik Laut, Sipil, Tambang (JeLAST)*, 6(3).
- Harahap, W. R. (2019). *Analisa modulus elastisitas pada beton sekan padi sebagai pengganti pasir (Studi Penelitian)*.
- Hamid, D. A., As'ad, S., & Safitri, E. (2014). Pengaruh Penggunaan Agregat Daur Ulang Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton Berkinerja Tinggi Grade 80. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil* , 2(2), 43–48.
- Harahap, W. R. (2019). *Analisa modulus elastisitas pada beton sekan padi sebagai pengganti pasir (Studi Penelitian)*.

- Harun, M. (2008). Pengaruh Lamanya Pengadukan Terhadap Nilai Slump Dan Kandungan Udara Campuran Beton. *Jurnal*, 5 (1), 80-87.
- Moniaga, F. (2018). Evaluasi Penggunaan Material Agregat Kasar Parameter Dia 10-20 Mm Dan 5-10 Mm Pada Campuran Beton Lapangan Dengan Specified Characteristic Strength. *Jurnal Ilmiah Realtech*, 14(1), 91–96. <https://doi.org/10.52159/realtech.v14i1.123>
- Moniaga, F. (2018). Evaluasi Penggunaan Material Agregat Kasar Parameter Dia 10-20 Mm Dan 5-10 Mm Pada Campuran Beton Lapangan Dengan Specified Characteristic Strength. *Jurnal Ilmiah Realtech*, 14(1), 91–96.
- Miftakhul mukhsanah. (2019). Pemanfaatan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar terhadap high volume fly ash concrete (hvfac). *Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap High Volume Fly Ash Concrete (Hvfac)*, 1, 1–15.
- Pane, F. P., Tanudjaja, H., & R.S. Windah. (2015). Pengujian Kuat Tarik Belah Dengan Variasi Kuat Tekan Beton. *Jurnal Sipil Statik*, 3(5), 313–321.
- Rahmad. (2016). Pemanfaatan Limbah Beton pada Campuran Hot Rolled Sheet Base Ditinjau dari Aspek Marshall.
- Rahman. (2014). Kajian Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Material CTB
- Risamawarni, R., Bachtiar, E., & Rachim, F. (2020). Pengaruh Subtitusi Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Curing Air Laut. *Indonesian Journal of Fundamental Sciences*, 6(2), 127–137.
- Saputra, R. D., & Hepiyanto, R. (2017). PENGARUH AIR PDAM, LAUT, COMBERAN PADA PROSES CURING TERHADAP KUAT TEKAN BETON F_c 14,53 Mpa. *Jurnal CIVILA*, 2(2), 6. <https://doi.org/10.30736/cvl.v2i2.78>
- Suharwanto dan Munaf, D. R., 2017, Formula of Recycled Concrete Aggregate Compressive Strength in Mix Design, *Jurnal The 4th International Conference on Engineering and Technology Development (ICETD)*.
- Sidik. 2010. “Kajian Nilaislump, Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Betondengan Bahan Tambahanfillerabu Batu Paras.” *Matriks Teknik Sipil* 2 (2): 131–37.
- Sutrisno, A., & Widodo, S. (2017). Analisis variasi kandungan semen terhadap kuat tekan beton ringan struktur agregat pumice. *Jurnal Teknik Sipil*, 286.
- Soelarso, S., & Baehaki, B. (2016). Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas. *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil*, 5(2).
- Universitas, M., Indonesia, K., Ot, J., & Talake, P. (2019). 1 , 2 , 3. 5(1), 3–8.

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



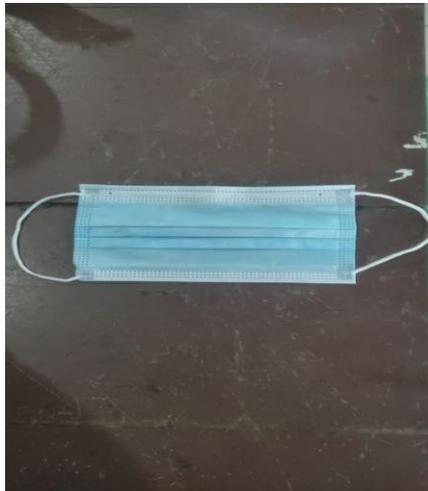
Gambar.L 8. Gelas Ukur 1000 ml



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. Beton dalam wadah cetakan silinder 15x30cm



Gambar.L21. Perendaman benda uji



Gambar.L 22. Benda uji yang sudah dikeluarkan dari bak perendaman



Gambar.L 23. Penimbangan berat benda uji setelah perendaman



Gambar.L 24 Proses pengujian benda uji dengan menggunakan mesin kuat tekan