TUGAS AKHIR

ANALISIS NILAI MODULUS ELASTISITAS BETON TERHADAP PENGGUNAAN LIMBAH HASIL UJI BETON DAN LIMBAH KERAMIK SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT KASAR DAN AGREGAT HALUS (STUDI PENELITIAN)

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

FAISAL RAMLI DALIMUNTHE

2107210186

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2025

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

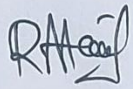
Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama	: Faisal Ramli Dalimunthe
NPM	: 2107210186
Program Studi	: Teknik Sipil
Judul Skripsi	: Analisis Nilai Modulus Elastisitas Beton Terhadap Penggunaan Limbah Hasil Uji Beton Dan Limbah Keramik Sebagai Substitusi Agregat Kasar Dan Agregat Halus
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 SKRIPSI

Medan, 30 Juli 2025
Dosen Pembimbing



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

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama	: Faisal Ramli Dalimunthe
NPM	: 2107210186
Program Studi	: Teknik Sipil
Judul Skripsi	: Analisis Nilai Modulus Elastisitas Beton Terhadap Penggunaan Limbah Hasil Uji Beton Dan Limbah Keramik Sebagai Substitusi Agregat Kasar Dan Agregat Halus
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, 30 Juli 2025

Mengetahui Dan Menyetujui

Dosen Pembimbing

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

Dosen Penguji I	Dosen Penguji II
Assoc. Prof., Ir., Fahrizal Zulkarnain	Ir. Tondi Amirsyah Putera S.T., M.T.,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap	:	FAISAL RAMLI DALIMUNTHE
Tempat/Tanggal Lahir	:	Medan, 10 September 1994
NPM	:	2107210186
Fakultas	:	Teknik
Program Studi	:	Teknik Sipil

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

" Analisis Nilai Modulus Elastisitas Beton Terhadap Penggunaan Limbah Hasil Uji Beton Dan Limbah Keramik Sebagai Substitusi Agregat Kasar Dan Agregat Halus"

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

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

Medan, 30 Juli 2025

Saya yang menyatakan,

FAISAL RAMLI DALIMUNTHE

ABSTRAK

ANALISIS NILAI MODULUS ELASTISITAS BETON TERHADAP PENGGUNAAN LIMBAH HASIL UJI BETON DAN LIMBAH KERAMIK SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT KASAR DAN AGREGAT HALUS

Faisal Ramli Dalimunthe

2107210186

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

Aktivitas industri konstruksi, khususnya pada proyek skala besar, secara tak terhindarkan menghasilkan residu material berupa beton dan keramik. Kurangnya pengelolaan yang efektif terhadap limbah ini dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Sebagai upaya mitigasi, pemanfaatan kembali limbah tersebut menjadi bahan bangunan alternatif, seperti substitusi agregat, merupakan sebuah solusi yang berkelanjutan. Maka dari itu, studi ini dilaksanakan untuk mengevaluasi dampak dari substitusi parsial agregat kasar menggunakan limbah beton (LB) dan agregat halus menggunakan abu limbah keramik (LK) terhadap karakteristik modulus elastisitas beton. Penelitian ini menawarkan pendekatan baru dengan memberikan analisa efek kombinasi kedua material limbah tersebut, yang diaplikasikan dengan variasi LB sebesar 10%, 15%, dan 20% serta LK sebesar 12% dari berat agregat masing-masing. Analisis data eksperimen menunjukkan bahwa kinerja elastisitas paling optimal dicapai oleh beton variasi 4 (LB 10% + LK 12%). Dengan nilai modulus elastisitas sebesar 22382.9 MPa, variasi ini hanya menunjukkan penurunan sebesar 4,6% jika dibandingkan dengan beton normal (23469.8 MPa). Sebaliknya, kinerja terendah terdapat pada variasi 3 (LB 20%) yang mengalami penurunan sifat elastis secara signifikan sebesar 19.6% hingga mencapai nilai 18867.9 MPa. Temuan ini mengindikasikan bahwa aplikasi gabungan limbah beton dan abu keramik berpotensi sebagai material substitusi, selama proporsi penggunaannya terkendali dalam batas persentase yang efektif.

Kata Kunci : Limbah Beton, Limbah Keramik, Substitusi, Modulus Elastisitas.

ABSTRACT

AN ANALYSIS OF CONCRETE'S MODULUS OF ELASTICITY USING CONCRETE TEST WASTE AND CERAMIC WASTE ASH AS COARSE AND FINE AGGREGATE SUBSTITUTES

Faisal Ramli Dalimunthe

2107210186

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

Large-scale construction industry activities inevitably generate significant amounts of residual materials, primarily concrete and ceramics. Ineffective management of this waste can lead to adverse environmental impacts. As a mitigation effort, repurposing this waste into alternative building materials, specifically through aggregate substitution, represents a sustainable solution. Therefore, this study was conducted to evaluate the impact of partially replacing coarse aggregate with concrete test waste (CTW) and fine aggregate with ceramic waste ash (CWA) on the concrete's modulus of elasticity. This research offers a novel approach by analyzing the combined effect of these two waste materials, applied with CTW variations of 10%, 15%, and 20%, and an CWA variation of 12% by weight of the respective aggregates. Analysis of the experimental data indicates that the optimal elastic performance was achieved by concrete variation 4 (10% CTW + 12% CWA). With a modulus of elasticity of 22382.9 MPa, this variation exhibited only a 4.6% decrease compared to the normal concrete (23469.8 MPa). Conversely, the lowest performance was observed in variation 3 (20% CTW), which experienced a significant 19.6% reduction in elastic properties, reaching a value of 18867.9 MPa. These findings indicate that the combined application of waste concrete and ceramic ash has potential as a substitute material, provided that their proportions are controlled within effective percentage limits.

Keywords: Waste Concrete, Ceramic Waste, Substitution, Modulus of Elasticity.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur bagi Allah SWT yang telah menganugerahkan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul "Analisis Nilai Modulus Elastisitas Beton Terhadap Penggunaan Limbah Hasil Uji Beton dan Limbah Keramik Sebagai Substitusi Agregat Kasar dan Agregat Halus " sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU).

Shalawat dan salam tak lupa pula penulis hanturkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW selaku suri tauladan umat manusia di dunia. Dalam pembuatan laporan ini penulis memperoleh bantuan dari banyak pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Rizki Efrida S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing dan Sekretasis Program Studi Teknik Sipil yang telah membimbing, mengarahkan dan memberi masukan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dan ikut andil dalam proses administrasi penelitian.
2. Bapak Ir. Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang ikut andil dalam proses pengujian tugas akhir.
3. Bapak Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain S.T., M.Sc. Ph.D., selaku Dosen penguji I yang ikut andil dalam proses pengujian tugas akhir.
4. Bapak Ir. Tondi Amirsyah Putera S.T., M.T., selaku Dosen penguji II yang ikut andil dalam proses pengujian tugas akhir.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, ST, MSc, Ph.D selaku Wakil Dekan I Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan ilmu Teknik Sipil yang sangat bermanfaat kepada penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Kedua orang tua penulis : Ir. Ahmad Rifai Dalimunthe, MM dan Ir. Purnama Dewi Daulay, MM yang telah bersusah payah membesarkan dan memberikan kasih sayangnya yang tidak ternilai kepada penulis.
10. Sahabat-sahabat penulis terutama rekan penelitian penulis M. Abdillah Adif, rekan-rekan Teknik Sipil stambuk 2021 Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan semua teman-teman yang memberi penulis masukan masukan yang bermanfaat, dukungan serta semangat pada proses penyelesaian laporan ini.

Tugas akhir ini tentu masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan masukan yang membangun dari para pembaca agar bisa menjadi pembelajaran pada penelitian yang akan datang. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan juga dunia konstruksi Teknik Sipil.

Medan, 13 Januari 2025

Faisal Ramli Dalimunthe

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING i
LEMBAR PENGESAHAN ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR iii
ABSTRAK iv
ABSTRACT v
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR NOTASI xiii
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
1.6 Sistematika Penelitian 4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Pengertian Beton 5
2.2 Kuat Tekan Beton 6
2.3 Modulus Elastisitas beton 7
2.4 Material Pembuatan Beton 7
2.4.1 Semen 8
2.4.2 Agregat Halus 8
2.4.3 Agregat Kasar 8
2.4.4 Air 9
2.5 Bahan Tambahan beton 10
2.5.1 Limbah Hasil Uji Beton 10
2.5.2 Limbah Keramik 10
2.6 Penelitian terdahulu 11

BAB 3 METODE PENELITIAN 16
3.1 Bagan Air Penelitian 16
3.2 Metode Penelitian 17
3.3 Tahapan Penelitian 17
3.4 Lokasi dan Waktu Penelitian 18
3.5 Sumber dan Teknik Pengambilan Data 19
3.5.1 Data Primer 19
3.5.2 Data Sekunder 19
3.6 Alat dan Bahan 19
3.6.1 Alat 19
3.6.2 Bahan 20
3.7 Langkah Pemeriksaan Bahan 21
3.8 Persiapan Penelitian 22
3.9 Pemeriksaan Agregat Halus 23
3.9.1 Analisa Saringan Agregat Halus 23
3.9.2 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus 25
3.9.3 Pengujian Kadar Air Agregat halus 27
3.9.4 Kadar Lumpur Agregat Halus 28
3.9.5 Berat isi Agregat Halus 29
3.10 Pemeriksaan Agregat Kasar 31
3.10.1 Analisa Saringan Agregat Kasar 31
3.10.2 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar 33
3.10.3 Kadar Air Agregat Kasar 34
3.10.4 Kadar Lumpur Agregat Kasar 35
3.10.5 Berat isi Agregat Kasar 36
3.11 Pembuatan Benda Uji 37
3.12 Pemeriksaan Slump Test 39
3.13 Perawatan (curing) Benda Uji 40
3.14 Kuat Tekan Beton 40
3.15 Analisa Modulus Elastisitas 41
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 43
4.1 Umum 43

4.2 Hasil Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton 43
4.3 Rencana Campuran Beton 44
4.3.1 Mix Design Beton 44
4.3.2 Pembuatan Benda Uji 47
4.4 Kebutuhan Material 48
4.4.1 Kebutuhan Material Utama 48
4.4.2 Kebutuhan Material Additif Limbah Beton 49
4.4.3 Kebutuhan Material Additif Limbah Keramik 50
4.5 Pengujian Slump 50
4.6 Pengujian Kuat Tekan Beton 52
4.7 Modulus Elastisitas 54
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 57
5.1 Kesimpulan 57
5.2 Saran 57
DAFTAR PUSTAKA 58
LAMPIRAN 60
DAFTAR RIWAYAT HIDUP 70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rangkuman Penelitian Terdahulu 11
Tabel 3.1 Jumlah Benda Uji 22
Tabel 3.2 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus 24
Tabel 3.3 Persamaan menghitung berat jenis agregat halus 26
Tabel 3.4 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus 26
Tabel 3.5 Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus 28
Tabel 3.6 Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus 29
Tabel 3.7 Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus 30
Tabel 3.8 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar 32
Tabel 3.9 Persamaan menghitung berat jenis agregat halus 33
Tabel 3.10 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat kasar 34
Tabel 3.11 Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar 35
Tabel 3.12 Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar 35
Tabel 3.13 Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar 36
Tabel 3.14 Persentase Campuran Beton 38
Tabel 3.15 Nilai Slump yang dianjurkan untuk konstruksi (SNI 7656:2012) 40
Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Agregat 43
Tabel 4.2 Tabel Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen 45
Tabel 4.3 Jumlah Berat Limbah Beton Benda Uji 49
Tabel 4.4 Jumlah Berat Abu Limbah Keramik Benda Uji 50
Tabel 4.5 Hasil Uji Kuat Tekan 52
Tabel 4.6 Berat Jenis Sampel Beton 54
Tabel 4.7 Modulus Elastisitas Sampel Beton 55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Bagan Air Penelitian 16
Gambar 3.2 Limbah Keramik 21
Gambar 3.3 Limbah Beton 21
Gambar 3.4 Grafik Gradasi Agregat Halus 25
Gambar 3.5 Grafik Gradasi Agregat Kasar 32
Gambar 3.6 Dimensi Benda Uji 39
Gambar 3.7 Ilustrasi uji kuat tekan beton 41
Gambar 4.1 Hubungan Faktor Air Semen Dan Kuat Tekan Beton 45
Gambar 4.2 Benda Uji Beton Silinder 48
Gambar 4.3 Grafik Nilai Slump 51
Gambar 4.4 Grafik Diagram Kuat Tekan 53
Gambar 4.5 Grafik Diagram Modulus Elastisitas 56

DAFTAR NOTASI

fc'	= Kuat tekan Beton	(MPa)
P	= Beban	(N)
A	= Luas Penampang	(mm^2)
Ec	= Modulus Elastisitas	(MPa)
Wc	= Berat jenis beton	(kg/m^3)
P	= Kadar air benda uji	(%)
W_1	= Massa benda uji	(gr)
W_2	= Massa benda uji kering oven	(gr)
A	= Berat benda uji kering oven	(gr)
B	= Berat piknometer berisi benda uji	(gr)
C	= Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan	(gr)
S	= Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan	(gr)
W_1	= Berat contoh dan wadah	(gr)
W_2	= Berat wadah	(gr)
W_3	= Berat contoh	(gr)
V	= Volume wadah	(cm^3)
FM	= Modulus kehalusan	(%)

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara yang memiliki perkembangan dalam bidang konstruksi yang cukup signifikan. Hal ini ditandai dengan terus berkembangnya infrastruktur, mulai dari jembatan, gedung, hingga jalan raya. Setiap pembangunan dalam bidang struktur terutama struktur dengan bahan utama beton harus melewati beberapa test seperti test kuat tekan, kuat tarik belah, dan lainnya. Test ini akan meninggalkan limbah limbah beton yang jarang sekali digunakan kembali. Limbah konstruksi yang umum meliputi limbah sampel beton hasil pengujian dan limbah keramik yang dihasilkan saat merenovasi lantai gedung dan rumah.

Limbah beton banyak terdapat di beberapa laboratorium pengujian beton dan hasil pembongkaran struktur bangunan gedung bertingkat. Hingga sekarang limbah beton ini masih menumpuk dikarenakan sulitnya mencari lokasi pembuangannya. Apabila tak dimanfaatkan, maka limbah hasil uji beton ini lama kelamaan akan menumpuk di laboratorium ataupun tempat uji dan dapat mengganggu aktivitas sehari hari. Salah satu cara mengurangi penumpukan limbah beton tersebut adalah dengan cara di daur ulang sebagai agregat kasar dari campuran material beton. Hal ini juga berlaku pada limbah keramik. Limbah keramik pada umumnya merupakan keramik-keramik yang sudah lama dan akan digantikan dengan keramik baru ataupun bahan penutup lantai lainnya. Pada proyek konstruksi gedung bertingkat ataupun perumahan yang ingin memperbaharui lantainya pastinya akan menghasilkan limbah keramik dengan jumlah besar. Hal ini apabila dibiarkan berserakan dan menumpuk disembarang tempat jelas akan mengganggu keseharian mengingat bentuk dari keramik yang tajam dapat berbahaya jika dibiarkan begitu saja.

Untuk itu perlulah dilakukan kajian untuk memanfaatkan limbah-limbah tersebut agar dapat digunakan kembali. Penelitian ini berguna untuk mengetahui pengaruh penambahan dua jenis limbah yaitu limbah hasil uji beton dan hasil uji keramik. Limbah hasil uji beton akan dihancurkan dan menjadi substitusi pada

agregat kasar. Limbah keramik akan dihancurkan lebih halus dan akan menjadi substitusi pada agregat halus.

Modulus elastisitas mempunyai hubungan yang erat dengan perubahan bentuk elastis suatu material atau biasa disebut deformasi. Nilai modulus elastisitas menunjukkan sejauh mana material akan meregang atau berubah bentuk saat diberikan beban tertentu. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas maka lendutan ataupun deformasi juga akan menjadi lebih kecil. Modulus elastisitas juga memiliki hubungan dengan nilai kuat tekan, dimana semakin tinggi nilai kuat tekan suatu beton maka nilai modulus elastisitas juga akan semakin tinggi. Modulus elastisitas beton ini dapat digunakan untuk memastikan bahwa material bekerja dalam batas elastisnya untuk menghindari kerusakan pada pembebanan.

Penelitian ini didasari oleh penilitian-penelitian sebelumnya tentang penambahan limbah keramik sebagai substitusi agregat halus (Hermansyah, Dika Suryanto, dan Rasdiati, 2022) dimana menghasilkan nilai modulus elastisitas beton dengan variasi limbah keramik 0,1% mengalami kenaikan 4,04% sedangkan modulus elastisitas beton dengan variasi limbah keramik 0,2% sebesar 6% dan variasi limbah keramik 0,3% mengalami kenaikan 7,38% dari beton normal (variasi 0%) pada umur 28 hari. Dan penelitian tentang penambahan limbah beton hasil uji sebagai substisusi agregat kasar (Dahlia Patah dan Amry Dasar, 2022) dengan mendapatkan hasil modulus elastisitas beton variasi limbah beton 40% kurang dari nilai modulus elastisitas beton normal sebesar 2,5% pada umur 28 hari. Maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah mutu beton yang direncakan dapat tercapai apabila kedua limbah tersebut digabungkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut,

1. Bagaimana hasil nilai modulus elastisitas pada beton yang menggunakan limbah keramik dan limbah beton sebagai substitusi agregat halus dan agregat kasar?
2. Berapa persen penambahan limbah keramik dan limbah sampel uji beton yang dibutuhkan untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas yang optimal?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Pembatasan masalah dilakukan bertujuan untuk membatasi lingkup masalah yang dibahas dengan tujuan agar penelitian ini terarah sesuai dengan hal-hal yang sudah ditentukan. Pembatasan masalah tersebut meliputi :

1. Mutu beton rencana yang digunakan adalah *f'c* 20 Mpa.
2. Limbah beton yang digunakan adalah limbah beton hasil uji kuat tekan dengan *f'c 30* Mpa.
3. Perawatan beton dilakukan dengan perendaman didalam bak atau wadah berisi air selama 28 hari.
4. Benda uji yang digunakan baik pada beton normal maupun beton variasi adalah berbentuk silinder yang memiliki tinggi 30cm dengan diameter 15cm.
5. Pengujian kuat tekan yang dilakukan hanya pada umur 28 hari.
6. Analisa modulus elastisitas beton setelah dilakukan perendaman umur 28 hari.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah,

1. Mengetahui pengaruh penambahan campuran limbah keramik dan limbah sampel uji beton terhadap modulus elastisitas beton rencana pada umur 28 hari.
2. Mengetahui berapa persen penambahan limbah keramik dan limbah sampel uji beton untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas optimal.

1.5 Manfaat Penelitian

Berikut adalah beberapa manfaat yang didapat dari penelitian ini :

1. Penelitian ini diharapkan dapat digunakan ataupun diaplikasikan pada dunia konstruksi.
2. Membuka potensi penggunaan kembali limbah hasil uji beton dan dapat mengurangi penumpukan limbah hasil uji beton.
3. Membuka potensi penggunaan kembali limbah keramik dan dapat mengurangi penumpukan sisa sisa pembangunan gedung.
4. Terbukanya wawasan baru dalam penggunaan kembali material serta dapat

menjadi acuan pada mahasiswa lainnya dalam penelitian berikutnya.

1.6 Sistematika Penelitian

Sistematika penulisan pada tugas akhir dengan judul : "ANALISIS NILAI MODULUS ELASTISITAS BETON TERHADAP PENGGUNAAN LIMBAH HASIL UJI BETON DAN LIMBAH KERAMIK SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT KASAR DAN AGREGAT HALUS" ini terbagi menjadi 5 bab yaitu:

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB 3 METODE PENELITIAN

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

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang pemaparan hasil analisis dari penelitian yang sudah dilakukan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Beton

Beton adalah material yang paling umum ditemukan dalam pembangunan infrastruktur. Beton terbentuk dari campuran beberapa material yaitu air, semen, agregat kasar, agregat halus yang kemudian mengeras menjadi bentuk padat. Terkadang, satu atau lebih bahan campuran tambahan (*admixture*) ditambahkan untuk mengubah karakteristik tertentu dari beton, seperti kemudahan pengerjaannya, daya tahan, dan waktu pengerasannya (Jack C. McCormac, 2011). Pengerasan campuran beton ini terjadi akibat reaksi kimia dan fisika dimana senyawa kimia dalam semen berinteraksi dengan air. Reaksi kimia pada semen ini disebut dengan hidrasi semen. Campuran beton dibiarkan dan akan mengeras pada sendirinya.

Menurut (SNI-2847-2019), beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Menurut (Agus Setiawan 2016) beton sendiri adalah material konstruksi yang diperoleh dari pencampuran pasir, kerikil/ batu pecah semen serta air. Terkadang beberapa macam bahan tambahan dicampurkan ke dalam campuran tersebut dengan tujuan memperbaiki sifat sifat dari beton, yakni antara lain untuk meningkatkan *workability*, *durability*, serta waktu pengerasan beton.

Menurut (Mulyono, 2004) ada beberapa kelebihan dan kekurangan beton yakni:

1. Kelebihan Beton
    a. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
    b. Mampu Memikul beban yang berat.
    c. Tahan terhadap temperatur yang tinggi.
    d. Biaya Pemeliharaan yang kecil.
2. Kekurangan Beton
    a. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah.

b. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.

c. Berat.

d. Daya pantul suara yang besar.

Setelah beton mengeras, beton sebagai material struktur mempunyai beberapa sifat mekanik yang dapat dijadikan kriteria untuk menentukan mutu suatu beton. Beberapa sifat mekanik yang dimiliki oleh beton yang sudah mengeras yaitu meliputi kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur dan modulus elastisitas. (Agus Setiawan, 2016)

2.2 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah salah satu sifat mekanik pada beton yang sudah mengeras. Hal ini dapat kita dapatkan saat melakukan test uji kuat tekan beton di laboratorium. Nilai kuat tekan yang kita dapatkan akan menjadi acuan dalam menentukan mutu atau kualitas beton. Kuat tekan beton dapat dipengaruhi beberapa faktor seperti rasio proporsi campuran beton, kualitas semen, hasil uji *slump*, penggunaan *admixture* dan lainnya. Menurut (ASTM C39/C39M – 12a) *Standart Test Method for Compressive Strenth of Cylindrical Concrete Specimens* benda uji pada uji kuat tekan yang digunakan berupa silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

Uji kuat tekan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine*. Nilai yang didapat adalah hasil dari beban yang bekerja dan terdistribusi pada penampang secara merata secara dan terus menerus pada titik berat dengan rumus :

$$f = \frac{P}{A} \tag{2.1}$$

Dimana:

f (saat pengujian) = kuat tekan saat pengujian (kg/cm2)

A = Luas penampang (cm2)

P = Beban tekan (kg)

Nilai kuat tekan beton yang disyaratkan, f'_c diperoleh dari benda uji silinder standar yang dirawat dan telah berumur 28 hari. Nilai kuat tekan inilah yang dicantumkan dalam gambar kerja proyek dan digunakan dalam perhitungan (Agus

Setiawan, 2016). Untuk mencapai nilai kuat tekan yang disyaratkan, f'_c, maka nilai kuat tekan rata rata, f'_{cr} dapat ditentukan sebagai berikut:

1. Untuk f'_c Kurang atau sama dengan 35 Mpa, diambil nilai terbesar dari
   a. $f'_{cr} = f'_c + 1{,}34$ s (2.2)
   b. $f'_{cr} = f'_c + 2{,}33$ s – 3,5 (2.3)
2. Untuk f'_c lebih dari 35 Mpa, diambil nilai terbesar dari
   a. $f'_{cr} = f'_c + 1{,}34$ s (2.4)
   b. $f'_{cr} = 0{,}90 f'_c + 2{,}33$ s (2.5)

Dengan s adalah nilai deviasi standard.

2.3 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton merupakan parameter yang menunjukkan kemampuan beton dalam menahan deformasi elastis (sementara) ketika terkena suatu beban. Modulus elastisitas beton berkaitan dengan sifat-sifat beton lainnya, terutama kuat tekan beton itu sendiri. Beton yang menerima beban akan menimbulkan tegangan sehingga menyebabkan beton tersebut mengalami regangan sehingga perlu untuk mengetahui hubungan antara tegangan dan regangan atau modulus elastisitas (Agus, Bambang & Diah, 2021). Pengujian ini memungkinkan kita mengetahui seberapa besar beban yang dapat ditahan oleh beton tanpa merusak dirinya sendiri (yang masih dalam keadaan plastis). Berdasarkan (SNI 2847 – 2019) tentang persyaratan beton struktural pada gedung dijelaskan bahwa nilai modulus elastisitas teoritis untuk beton diizinkan diambil nilai sebesar :

$$Ec = 4700 \sqrt{f'c} \quad (2.6)$$

2.4 Material Pembuatan Beton

Material pembuatan beton adalah material material yang nantinya akan digunakan pada campuran beton. Campuran ini dibuat menggunakan rasio proporsi material dimana rasio ini akan menentukan kuat tekan rencana sebuah beton. Secara umum material beton terbuat dari susunan semen, agregat kasar, agregat halus dan air sebagai pereaksinya. Material material ini nantinya akan diuji sesuai dengan ketentuan ketentuan seperti SNI ataupun ASTM.

2.4.1 Semen

Semen adalah salah satu bahan dasar pembuatan beton dan salah satu material utama pada campuran beton. Semen adalah material pengikat yang mempunyai sifat sebagai material yang dapat mengeras sendiri dan dapat mengikat material lain untuk mengeras bersamaan. Salah satu jenis semen yang paling umum ditemukan adalah jenis Semen Portland. Menurut (SNI 15-2049-2004), Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

2.4.2 Agregat Halus

Agregat halus mempunyai fungsi sebagai salah satu bahan pengisi dalam beton bersama dengan agregat kasar. Berdasarkan (SNI 03–2847–2002), yang dimaksud dengan agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,00 mm. Menurut (SNI 03-2461-2002), agregat halus memiliki modulus kehalusan atau finess modulus (FM) yang berada di kisaran antara 1,5 s/d 3,8.

Persyaratan agregat halus secara umum adalah sebagai berikut:

1. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
2. Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Sifat kekal agregat halus dapat di uji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat maksimum bagian yang hancur adalah 10% berat.
3. Tidak boleh terkandung lumpur lebih dari 5%, jika kadar lumpur melampaui 5% maka pasir harus di cuci.
4. Bebas atau tidak boleh mengandung zat yang reaktif terhadap alkali.
5. Kadar Liat tidak boleh melebihi 1% (terhadap berat kering).

2.4.3 Agregat Kasar

Pemilihan agregat kasar yang tepat sangat penting untuk mencapai modulus elastisitas beton yang diinginkan. Kekuatan dan kekakuan beton dapat dioptimalkan

dengan memilih agregat yang keras, tersortir dengan baik, dan mempunyai sifat fisik yang sesuai. Agregat kasar yang lebih besar dapat meningkatkan modulus elastisitas, namun juga mempengaruhi homogenitas campuran. Agregat yang tergradasi dengan baik (memiliki kombinasi ukuran partikel) memastikan ikatan yang baik dan meningkatkan modulus elastisitas dalam campuran beton. Beton dengan proporsi agregat kasar yang tinggi mempunyai modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan agregat kasar (dalam batas tertentu) dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan pasta semen.

Menurut SNI-03-2847-2002, 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 5 mm sampai 40 mm. Dalam penggunaannya harus memenuhi syarat syarat sebagai berikut:

1. Butir-butir keras yang tidak berpori serta bersifat kekal yang artinya tidak pecah karena pengaruh cuaca seperti sinar matahari dan hujan.
2. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila melebihi maka harus dicuci lebih dahulu sebelum menggunakannya.
3. Tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak batuan seperti zatzat yang reaktif terhadap alkali.
4. Agregat kasar yang berbutir pipih hanya dapat digunakan apabila jumlahnya tidak melebihi 20% dari berat keseluruhan.

2.4.4 Air

Air adalah material yang utama pada sistem pengikatan material pada beton. Hal ini terjadi akibat reaksi hidrasi antara semen dan air yang nantinya akan mengikat material material lainnya dan akan mengeras membentuk satu beton. Menurut (Agus Setiawan, 2016), Dalam reaksi hidrasi komponen-komponen pokok dalam semen bereaksi dengan molekul air membentuk hidrat atau produk hidrasi. Dalam pembuatan campuran beton, hendaknya digunakan air yang bersih yang tidak tercampur dengan kotoran-kotoran kimia yang memungkinkan timbulnya reaksi sampingan dari reaksi hidrasi.

Rasio air semen ataupun perbandingan antara jumlah berat air dan jumlah berat semen adalah salah satu hal yang wajib untuk diperhatikan dalam menentukan kuat

tekan beton. Kekuatan beton sangat dipengaruhi faktor air semen, semakin kecil nilai factor air semen maka kuat tekan beton akan semakin besar. Tapi terlalu kecilnya fas juga dapat mempengaruhi kekuatan beton, sebab fas terlalu kecil pengadukannya susah jadi pencampuran tidak bisa merata (Tjokrodimuljo, 2007).

2.5 Bahan Tambahan Beton

2.5.1 Limbah Hasil Uji Beton

Limbah hasil uji beton adalah beton beton yang sudah selesai diuji pada laboratorium beton, seperti uji kuat tekan, uji kuat tarik belah, uji lentur, uji geser dan lain lainnya. Limbah hasil uji ini nantinya tidak akan dipakai dan menumpuk pada laboratorium beton dan akhirnya akan dibuang. Penggunaan limbah uji beton sebagai pengganti agregat kasar merupakan langkah menuju pengelolaan limbah konstruksi berkelanjutan. Beton yang dihancurkan melalui pengujian (seperti uji kuat tekan) dapat diolah menjadi agregat kasar yang didaur ulang.

Ada beberapa pertimbangan pada pemakaian hasil uji beton sebagai pengganti agregat kasar, terutama pada modulus elastisitasnya. Menurut penelitian terdahulu, pemakaian limbah uji beton pada agregat kasar akan merubah modulus elastisitas dan cenderung menurun akibat sifat agregat daur ulang yang lebih lunak. Maka dari itu diperlukan teknik pengolahan yang bagus seperti penyesuaian rasio air-semen pada campuran beton.

2.5.2 Limbah Keramik

Keramik merupakan suatu bentuk dari tanah liat yang telah mengalami proses pembakaran yang pada umumnya terbuat dari tanah liat, kwarsa, feldspar, dan serbuk kaca. Sifat keramik ditentukan oleh struktur kristal, komposisi kimia dan mineral bawaannya yang secara umum meiliki sifat :

1. Keras, kuat, tetapi bersifat getas atau mudah pecah.
2. Tahan terhadap korosi.
3. kapasitas panas yang baik dan konduktifitas panas yang rendah.
4. Sifat listriknya dapat menjadi isolator, semikonduktor, konduktor bahkan superkonduktor.

5. dapat bersifat magnetik dan non magnetik.

Kwarsa (*Flint*), Kwarsa adalah bentuk lain dari batuan silica (SiO2), yang mempunyai fungsi mengurangi susut kering, jadi mengurangi ada retakan dalam pengeringan dan mengurangi susut waktu dibakar sehingga tetap kualitas tetap baik. Feldspard, Feldspard yang disusun oleh K2O. Al2SO3.6SiO2 ini merupakan suatu kelompok mineral yang berasal dari batuan karang. Pada saat keramik dibakar, maka Feldspard meleleh dan membentuk lelehan gelas yang menyebabkan partikel partikel *clay* bersatu bersama sehingga memberikan kekerasan dan kekuatan pada keramik. Penggunaan limbah keramik sebagai pengganti agregat halus pada beton diharapkan dapat mengurangi konsumsi pasir dan mengurangi limbah keramik yang tidak terpakai. (Hermansyah, Suryanto & Rasdiati, 2022)

2.6 Penelitian Terdahulu

Sudah ada beberapa penelitian terkait pengaruh limbah hasil uji beton dan limbah keramik terhadap modulus elastisitasnya. Penelitian tersebut menjadi dasar pada penelitian ini dimana penulis ingin mengetahui pengaruh akibat kedua limbah tersebut terhadap nilai modulus elastisitasnya. Berikut adalah beberapa penelitian terdahulu terkait limbah hasil uji beton dan limbah keramik.

Tabel 2.1 : Rangkuman Penelitian Terdahulu

Judul 1	Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas
Penulis	Soelarso, Baehaki, dan Nur Fatah Sidik
Volume	Jurnal Fondasi, Volume 5 No 2
Tahun Publish	2016
Kesimpulan	Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar seperti dibawah ini : 1. Penggunaan limbah beton sebagai pengganti

Tabel 2.1 : *Lanjutan*

	agregat kasar berpengaruh pada kuat tekan. Kuat tekan cenderung menurun seiring dengan bertambahnya persentase agregat limbah beton dengan rata-rata penurunan terendah terjadi pada proporsi limbah beton 25% sebesar 45,39%, proporsi limbah beton 50% sebesar 56,99%, lalu proporsi limbah beton 75% sebesar 61,65% dan penurunan terbesar pada proporsi limbah beton 100% sebesar 66,62%. 2. Penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar berpengaruh pada nilai modulus elastisitas. Modulus elastisitas cenderung menurun seiring dengan bertambahnya presentase agregat limbah beton dengan rata-rata penurunan terendah terjadi pada proporsi 25% sebesar 77,35%, proprosi limbah beton 50% sebesar 77,45%, proporsi limbah beton 75% sebesar 79,26% dan penurunan pada proporsi 100% sebesar 79,12%. Dari hasil kuat tekan dan modulus elastisitas, proporsi limbah beton 25% adalah kadar paling optimum sebagai pengganti agregat kasar.
Judul 2	Pengaruh Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton
Penulis	Dahlia Patah, Amry Dasar
Volume	JURNAL TEKNOLOGI TERPADU VOL. 10 NO. 2
Tahun Publish	2022
Kesimpulan	Dari hasil penyelidikan eksperimental, limbah beton dapat digunakan dalam campuran beton ditinjau pada peningkatan kekuatan dan pemanfataan limbah beton. Kekuatan beton meningkat dengan penggunaan limbah beton dengan rasio optimum penggantian

Tabel 2.1 : *Lanjutan*

	agregat kasar sebesar 10% dengan kuat tekan mencapai 40,03 MPa pada umur 28 hari dengan persentase kenaikan 16,4% dari beton normal. Kemudian, campuran beton yang mengandung agregat limbah beton hingga 40% hanya dapat mencapai tingkat kekuatan antara 93,7% hingga 98,5% mendekati dengan kuat tekan beton normal 34.39 MPa.
Judul 3	Pengaruh Penambahan Serbuk Limbah Keramik Terhadap Peningkatan Nilai Kuat Tekan Beton
Penulis	Hermansyah, Dika Suryanto, dan Rasdiati
Volume	Jurnal Kacapuri, Jurnal Keilmuan Teknik Sipil Volume 5 Nomor 1 Edisi Juni 2022
Tahun Publish	2022
Kesimpulan	Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka mengasilkan nilai kuat tekan berdasarkan variasi 0%, 0,1%, 0,2% dan 0,3% menunjukan angka kuat tekan sebesar 32,05 MPa, 34,69 MPa, 36,01 MPa dan 36,96 MPa pada umur pengujian beton 28 hari, kuat tekan tertinggi terdapat pada variasi 0,3% yaitu 36,96 Mpa. Nilai modulus elastisitas berdasarkan variasi 0%, 0,1%, 0,2% dan 0,3% menunjukan angka modulus elastisitas sebesar 26607,98 MPa, 27683,60 MPa, 28205,27 MPa dan 28572,07 Mpa dengan modulus elastisitas tertinggi terdapat pada variasi 0,3% yaitu 28572,07 Mpa.

Tabel 2.1 : *Lanjutan*

Judul 4	PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH BETON SEBAGAI ANALISIS MODULUS ELASTISITAS BETON
Penulis	Bima Sutiono
Volume	-
Tahun Publish	2024
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 umur nya 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 moduluselastisitas 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

Tabel 2.1 : *Lanjutan*

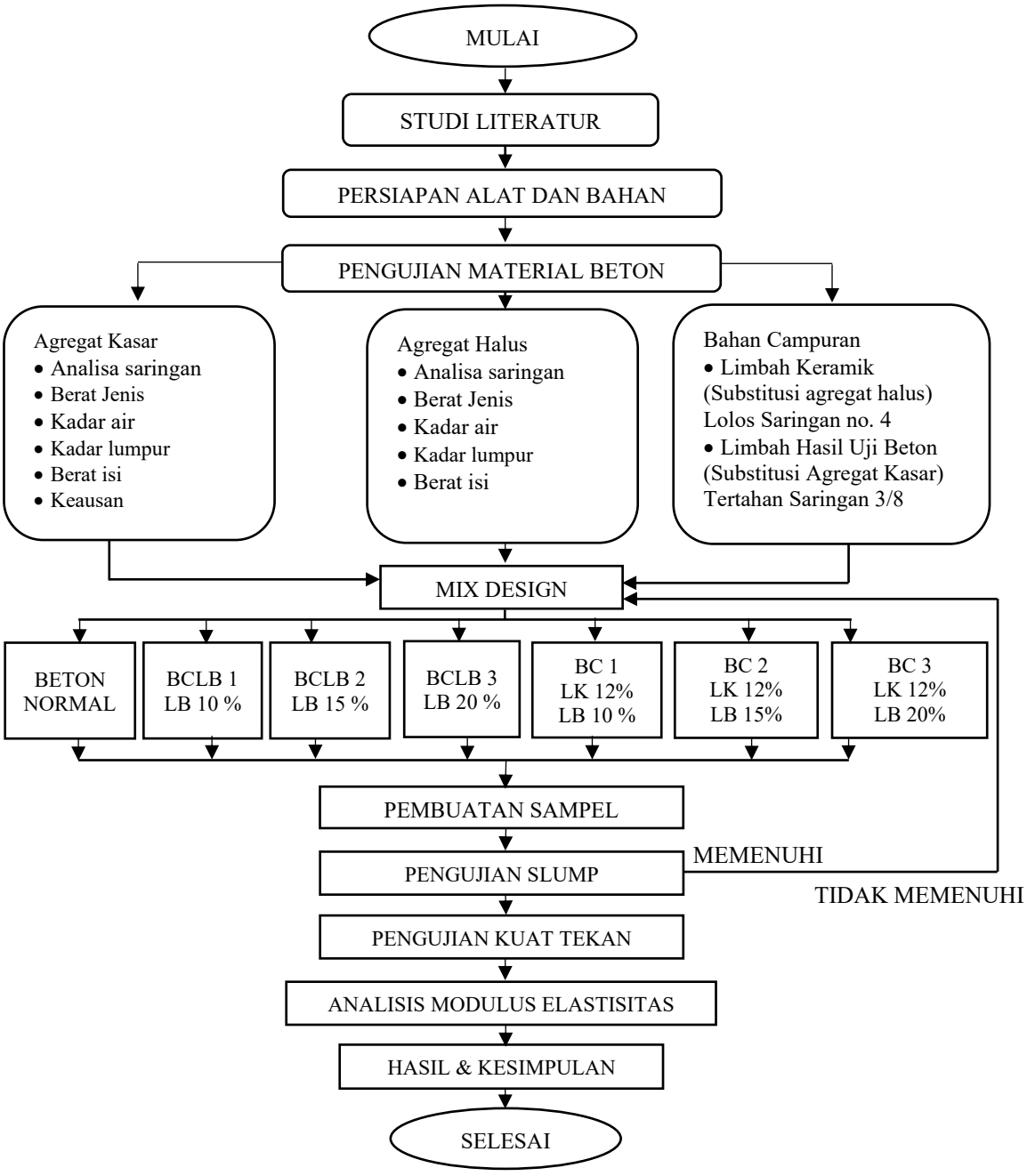
	1. Limbah beton 15% = 20270 MPa 2. Limbah beton 25% = 18381 MPa 3. Limbah beton 35% = 19767 MPa c. Beton umur 28 hari 1. Limbah beton 15% = 20395 MPa 2. Limbah beton 25% = 18492 MPa 3. Limbah beton 35% = 19889 MPa

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Bagan Air Penelitian

Berikut adalah bagan air dari penelitian penggunaan kembali limbah keramik sebagai agregat halus dan limbah hasil uji beton sebagai agregat kasar :



Gambar 3.1 : Bagan Alir Penelitian

3.2 Metode Penelitian

Metodologi penelitian adalah sekumpulan prinsip, langkah, dan teknik yang digunakan oleh peneliti untuk merancang, melaksanakan, dan menganalisis penelitian secara sistematis dan efisien. Menurut Moh. Nazir (2003) metodologi penelitian adalah suatu cara yang paling utama yang digunakan oleh para peneliti untuk melakukan kegiatan penelitian.

Pada penelitian ini, metode penelitian yang digunakan pada penggunaan limbah hasil uji beton dan limbah keramik sebagai substitusi agregat kasar dan agregat halus ini adalah metode *Experiment* dimana dilakukan percobaan percobaan untuk mendapatkan data atau hasil yang diperlukan.

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan Penelitian adalah langkah langkah yang sudah direncanakan dan akan dilakukan oleh seorang peneliti secara sistematis untuk melakukan sebuah penelitian. Tahapan ini mempunyai tujuan agar penelitian dapat berjalan secara terstruktur dan menghasilkan data yang akurat.

1. Studi Literatur

   Sebelum memulai penelitian, dilakukan studi literatur terhadap pokok bahasan penelitian yang bisa dijadikan acuan terhadap penelitian yang akan dilakukan. Studi ini dilakukan untuk mencari standarisasi pada tiap uji yang akan dilakukan pada penelitian ini.
2. Persiapan alat dan bahan

   Persiapan alat dan bahan dilakukan untuk memastikan material dan alat yang akan digunakan. Material yang harus dipersiapkan seperti agregat halus, agregat kasar, semen, air, limbah keramik dan limbah hasil uji beton.
3. Pengujian Material

   Pengujian material dilakukan untuk memastikan kondisi material sesuai dengan acuan yang sudah dipersiapkan sebelumnya. Pengujian yang dilakukan adalah pemeriksaan berat jenis berat isi, kadar air, kadar lumpur, analisa saringan dan keausan pada material yang akan digunakan pada penelitian.
4. Mix Design

   Perhitungan *Mix Design* (Perencanaan Campuran) dilakukan untuk

menentukan proporsi material dalam campuran beton guna mencapai sifat dan kinerja yang diinginkan. Perencanaan ini mengacu pada standarisasi SNI 2834-2000. Hasil dari perencanaan ini adalah didapatnya rasio perbandingan antara agregat kasar, agregat halus, air dan semen.

5. Pembuatan Sampel

   Setelah dilakukan perhitungan *Mix Design*, maka dilakukan pembuatan sampel menggunakan rasio yang sudah di dapat sebelumnya dengan mencampurkan seluruh bahan campuran yaitu air, semen, agregat kasar, agregat halus dan bahan *substitusi* yang digunakan yaitu limbah keramik dan limbah hasil uji beton.

6. Pengujian *Slump*

   Pengujian *slump* dilakukan untuk mengetahui kekentalan atau konsistensi campuran beton segar. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui *workability* suatu beton segar.

7. Pengujian Kuat Tekan

   Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui mengetahui kemampuan beton menahan beban tekan hingga batas maksimumnya.

8. Analisis Modulus Elastisitas

   Analisis modulus elastisitas dilakukan setelah dilakukan uji kuat tekan. Modulus elastisitas dilakukan untuk mengetahui sejauh mana beton dapat mengalami deformasi ketika diberi beban.

9. Pembahasan dan Kesimpulan

   Setelah mengetahui nilai modulus elastisitas, maka semua tahap dalam proses pembuatan beton sudah selesai. Hal terakhir yang dilakukan adalah mencatat, dan mengevaluasi data yang telah didapatkan.

3.4 Lokasi dan Waktu Penelitian

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

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 03-1968-1990).
2. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar (SNI 1970-2016)
3. Berat jenis dan penyerapan agregat halus (SNI 1970-2016).
4. Pemeriksaan berat isi agregat kasar (SNI 03-4804, 1998).
5. Pemeriksaan berat isi agregat halus (SNI 03-4804, 1998).
6. Pemeriksaan kadar air agregat (SNI 1971, 2011).
7. Pemeriksaan kadar lumpur (SNI S-04-1998-F,1989).
8. Perencanaan campuran beton (*Mix Design*) (SNI 2834-2000).
9. Pembuatan dan perawatan benda uji beton (SNI 2493:2011).
10. Uji kuat tekan beton (SNI 1974:2011)
11. Analisa Modulus Elastisitas (SNI 2847:2019)

3.5.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari studi pada buku dan jurnal ataupun penelitian terdahulu yang mempunyai hubungan dengan penelitian yang akan dilakukan. Data sekunder juga didapat dari bimbingan langsung melalui dosen pembimbing di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3.6 Alat dan Bahan

Berikut adalah beberapa alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini untuk mendapatkan hasil yang optimal. Seluruh peralatan ini tersedia pada Laboratorium Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3.6.1 Alat

Berikut adalah beberapa alat yang digunakan pada penelitian ini :

1. Satu set saringan untuk agregat halus dan agregat kasar.
   Agregat halus : No.4, No.8, No.16, N0.30, No.50, No.100, 200, Pan
   Agregat kasar : $1^1/_2$", 1, ¾",$^1/_2$", $^3/_8$", No.4.

Timbangan digital, digunakan untuk menimbang material dan bahan yang akan dipakai pada penelitian.

2. Oven, digunakan untuk memanaskan dan mengeringkan material yang akan digunakan.
3. Skop tangan, digunakan untuk mengambil bahan material dan meratakan material.
4. Plastik 5 kg, digunakan untuk memisahkan material yang sudah dilakukan pengujian dan wadah sementara.
5. *Stopwatch* dipakai untuk mengukur waktu pada beberapa percobaan.
6. Wadah, untuk menampung material yang nantinya akan dipakai.
7. Cetakan silinder digunakan sebagai bekisting untuk mencetak sampel beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
8. Gelas ukur, dipakai untuk mengukur takaran air yang diperlukan.
9. *Mixer* beton, alat yang dipakai untuk membuat campuran beton dengan cara mencampurkan semua material yang diperlukan.
10. Pan, sebagai alas dan tempat campuran beton yang sudah dikeluarkan dari *mixer* dan tempat mengaduk beton segar.
11. Satu set alat *slump test* yang terdiri atas *kerucut abrams*, penggaris, plat baja, dan tongkat pemadat.
12. Mesin uji kuat tekan, untuk menguji nilai kuat tekan sampel beton.

3.6.2 Bahan

Bahan atau material yang akan digunakan pada penelitian ini adalah

1. Agregat Kasar

   Agregat kasar yang akan digunakan adalah kerikil yang terdapat di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Agregat Halus

   Agregat halus yang akan digunakan adalah pasir alam yang terdapat di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Limbah Keramik

   Limbah keramik yang akan digunakan pada penelitian ini adalah limbah keramik hasil dari pembongkaran renovasi rumah.

Gambar 3.2 : Limbah Keramik

4. Limbah Beton

   Limbah beton yang digunakan adalah limbah beton normal *f'c* 30 sisa dari pengujian di Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Medan.

Gambar 3.3 : Limbah Beton

3.7 Langkah Pemeriksaan Bahan

Benda uji dibuat dengan memasukkan campuran beton yang sudah direncankan sebelumnya ke dalam cetakan berbentuk silinder dengan diameter 15cm dan tinggi 30cm. Setelah benda uji dikeluarkan dari bekisting, maka akan dilakukan perawatan. Perawatan yang dilakukan pada penelitian ini adalah perendaman selama 28 hari dalam bak rendaman yang biasa disebut dengan proses *curing*. Setelah itu sampel akan diuji kuat tekannya dengan uji compression test. Sampel yang direncanakan sebesar 21 buah dengan 6 variasi campuran dan 1

beton normal, dimana setiap variasi memiliki 3 sampel seperti yang tertera pada tabel berikut.

Tabel 3.1 : Jumlah Benda Uji

No	Variasi	Jumlah Benda Uji
1	Beton Normal	3
2	Beton Campuran Limbah Beton 1 • Limbah Beton 10%	3
3	Beton Campuran Limbah Beton 2 • Limbah Beton 15%	3
4	Beton Campuran Limbah Beton 3 • Limbah Beton 20%	3
5	Beton Campuran 2 • Limbah Keramik 12% • Limbah Beton 10%	3
6	Beton Campuran 3 • Limbah Keramik 12% • Limbah Beton 15%	3
7	Beton Campuran 3 • Limbah Keramik 12% • Limbah Beton 20%	3
	Total Sampel	21

3.8 Persiapan Penelitian

Untuk mempermudah tahapan penelitian, setiap material yang sudah diperoleh akan dipisahkan lebih dahulu menurut jenisnya. Pemisahan ini dilakukan agar material tidak tercampur dengan bahan bahan lainnya. Bahan tambahan juga harus dihancurkan terlebih dahulu sesuai dengan ukuran yang diinginkan, yaitu limbah hasil uji beton dihancurkan menjadi agregat kasar dan limbah keramik dihancurkan menjadi agregat halus. Material material ini juga harus dibersihkan dari tanah tanah yang menempel ataupun bahan lain yang akan menganggu proses pengujian. Material ini akhirnya disimpan dalam kondisi tidak basah ataupun jika ada yang basah maka akan dikeringkan terlebih dahulu hingga mencapai kondisi *SSD (saturated surface dry)* atau kering permukaan agar menjaga mutu material tersebut.

3.9 Pemeriksaan Agregat Halus

Agregat halus adalah komponen beton lain yang wajib diperiksa untuk menentukan apakah material tersebut layak pakai. Dari hasil uji, maka kita dapat menentukan apakah material yang kita dapat dapat dipakai untuk membuat sampel beton atau tidak. Agregat halus yang diuji dalam penelitian ini adalah pasir asal Binjai. Pemeriksaan ini dilakukan dengan menggunakan SNI sebagai panduannnya. Penelitian ini meliputi beberapa tahapan atau pemeriksaan, diantaranya:

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

3.9.1 Analisa Saringan Agregat Halus

Pemeriksaan dilakukan di Laboratorium Rekayasa dan Bahan Beton Universitas Sumatera Utara dengan memakai cara kerja sesuai *SNI 03-1968-1990 tentang analisa saringan. Pengujian analisa saringan dilakukan untuk memisah material berdasarkan ukurannya sesuai dengan jenis material tersebut. Dari penelitian analisa saringan akan di dapat data-data batas gradasi agregat halus sehingga diketahui modulus kehalusannya. Alat yang digunakan pada uji ini adalah satu set alat saringan dengan ukuran No.4, No.8, No.16, N0.30, No.50, No.100, No. 200 dan Pan. Langkah kerja pada pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyusun set saringan untuk agregat halus,
2. Menimbang benda uji sehingga mencapai berat yang diinginkan.
3. Letakkan material pada saringan paling atas dan di ayak sehingga butir butir material jatuh sesuai dengan ukurannya dan terpisah secara merata
4. Timbang berat tiap material yang tertahan pada tiap saringan lalu di catat.

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

$$\text{Persen berat tertahan (\%)} = \frac{Berat\ Tertahan}{Berat\ Total} x100\% \quad (3.1)$$

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

Secara rinci, tabel berikut menyajikan data hasil dari pengujian berat isi agregat halus, di mana pemeriksaannya dilakukan sesuai dengan standar SNI 03-4804-1998.

Tabel 3.2 : Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus

Ukuran Ayakan	Retained Fraction				Cumulative		Batas Zona 2	
	Sampel 1	Sampel 2	Total	% Berat Tertahan	Berat Tertahan	Berat Lolos		
mm	gr	gr	gr	%	%	%	Min	Max
9,5	0	0	0	0	0	100	100	100
4,75	3	2	5	0,20	0,20	99,80	90	100
2,36	191	187	378	15,21	15,41	84,59	75	100
1,18	327	318	645	25,96	41,37	58,63	55	90
0,6	281	289	570	22,94	64,31	35,69	35	59
0,3	264	268	532	21,41	85,71	14,29	8	30
0,15	119	122	241	9,70	95,41	4,59	0	10
0,075	49	58	107	4,31	99,72	0,28		
Pan	4	3	7	0,28	100,00	0,00		
Jumlah	1238	1247	2485		302,4145			

Berdasarkan Tabel 3.2 maka diperoleh nilai Modulus Halus Butir sebagai berikut :

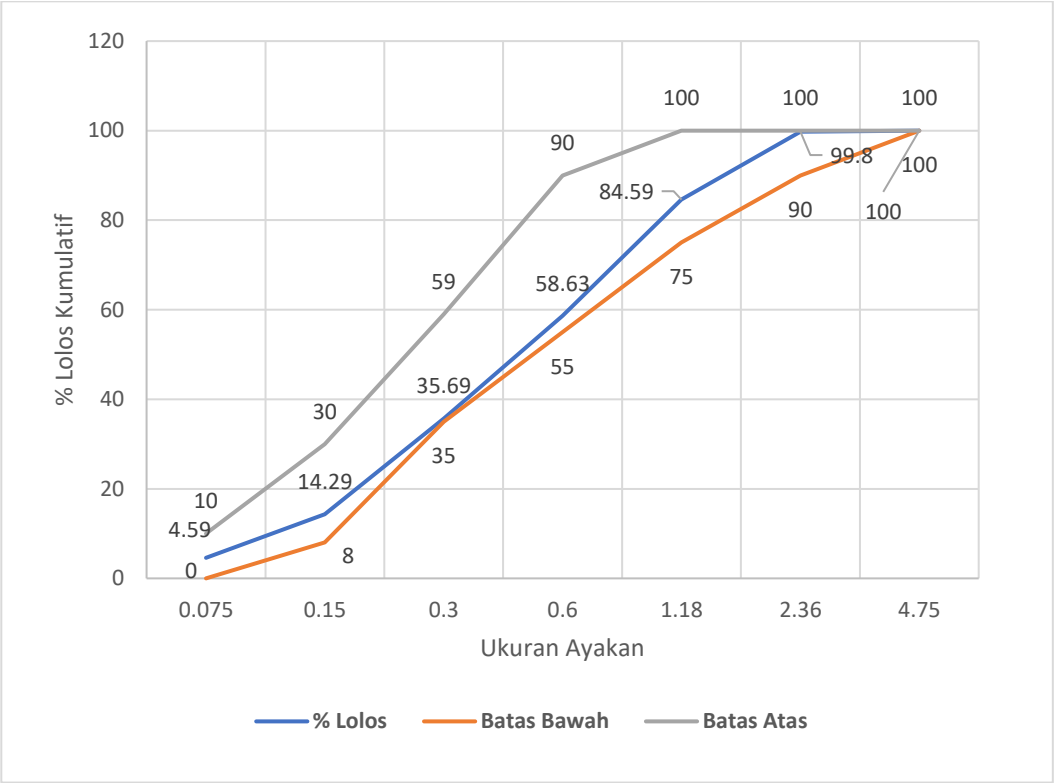
$$\text{FM (Modulus Halus Butir)} = \frac{\sum Berat\ Tertahan\ Kumulatif}{100}$$

$$= \frac{302,4145}{100}$$

$$= 3,02$$

Berdasarkan pengujian, diperoleh dua kesimpulan. Pertama, nilai FM sebesar 3,02 memenuhi standar ASTM C136 yaitu pada *range* nilai 1,5-3,8. Kedua, seperti yang terlihat pada grafik dan tabel, agregat halus ini diklasifikasikan sebagai pasir

agak kasar yang masuk dalam gradasi daerah 2. Grafik gradasi agregat halus dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini.



Gambar 3.4 : Grafik Gradasi Agregat Halus

3.9.2 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pengujian ini mempunyai tujuan untuk mendapatkan nilai berat jenis dan penyerapan pada masing-masing agregat dalam kondisi *SSD*. Berikut adalah langkah langkah pengujian pada tahap ini:

1. Material yang sudah dalam kondisi *SSD* ditimbang sesuai berat sampel yang direncanakan.
2. Timbang dan catat berat piknometer.
3. Kemudian masukkan air kedalam piknometer dan timbang kembali.
4. Setelah itu masukkan material kedalam piknometer berisi air dan panaskan selama 15 menit sambil menggoyangkannya setiap 5 menit agar gelembung udara keluar.

Untuk menghitung berat jenis pada agregat halus persamaan di dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 3.3 : Persamaan menghitung berat jenis agregat halus

Perhitungan	Notasi
Berat jenis curah (Sd)	$\frac{A}{(B+S-C)}$
Berat jenis jenuh kering permukaan (S_s)	$\frac{S}{(B+S-C)}$
Berat jenis semu (Sa)	$\frac{A}{(B+A-C)}$
Penyerapan air (Sw)	$[\frac{S-A}{A}]$ x 100%

Keterangan :

A = Berat benda uji kering oven (gr)

B = Berat piknometer penuh berisi air (gr)

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

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

Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan untuk agregat kasar, yang metodenya mengacu pada SNI 1970:2016 dan serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik Sipil UMSU, disajikan dalam tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 3.4 : Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

FINE AGGREGATE (Agregat Halus) Passing No.4 (Lolos Saringan No. 4)	01	02	*AVE* (Rata-Rata)
Wt of SSD Sample in Air (Berat contoh (SSD) kering permukaan jenuh) (B)	500	500	500
Wt of Flask + Water (Berat Piknometer penuh air) (D)	665	665	665
Wt. of Flask + Water + Sample (Berat contoh SSD di dalam piknometer penuh air) C	965	971	968

Tabel 3.4 : *Lanjutan*

Wt. of Oven Dry Sample (Berat contoh kering oven (110° C) Sampai Konstan) E	488	487	487.5
Bulk SP. Gravity-SSD (Berat jenis contoh SSD) B/ (B+D-C)	2.50	2.58	2.539
Bulk Sp. Gravity-Dry (berat jenis contoh kering) E/B+D-C	2.60	2.69	2.643
Apparent Sp. Gravity-Dry (Berat jenis contoh semu) E/(E+D-C)	2.44	2.51	2.48
Absorption	2.46	2.67	2.564
(A - Bk) / Bk x 100 %			

berdasarkan tabel 3.4, Agregat halus yang diuji memiliki berat jenis 2,46 pada benda uji 1 dan 2,67 pada benda uji yang menghasilkan rata-rata 2,54 dalam kondisi SSD, yang sesuai dengan standar normal (2,2 – 2,9). Selain itu, hasil pemeriksaan juga menunjukkan kemampuan penyerapan airnya adalah 2,56%.

3.9.3 Pengujian Kadar Air Agregat halus

Pengujian kadar air ini bertujuan untuk mengetahui persentase kandungan air dalam agregat. Kadar air dalam agregat akan mengubah ataupun mempengaruhi Faktor Air Semen (FAS) pada campuran beton. Semakin besar rasio air-semen semakin rendah kuat tekan bahan yang dihasilkan (Prasetio et al., 2020). Selain itu, pada tahun 1885 Prof. Duft Abraham merumuskan bahwa kekuatan beton sangat dipengaruhi oleh kadar air semen (Kasus et al., 2017). Adapun cara kerjanya sebagai berikut :

1. Menimbang agregat sesuai yang direncanakan.
2. Memasukkan agregat pada wadah.
3. Setelah itu menimbang berat agregat dengan wadah.
4. Masukkan wadah berisi agregat kedalam oven. dengan suhu (110±5)°C selama 24 jam.
5. Keluarkan wadah berisi agregat dan tinggalkan hingga dingin.

6. Timbang kembali agregat dan wadah yang sudah dingin.

Setelah didapat berat masing masing, maka kadar air dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Berat contoh SSD dan berat wadah = W1

Berat contoh kering oven dan berat wadah = W2

Berat wadah = W3

Berat air = W1 - W2 (3.3)

Berat contoh kering = W2 – W3 (3.4)

Kadar air = $[\frac{W1-W2}{W2-W3}]$ x 100% (3.5)

Berikut adalah tabel hasil pengujian kadar air agregat halus yang pengerjaannya mengacu pada SNI 1971:2011 :

Tabel 3.5 Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus

Keterangan	Notasi	Persamaan	Benda Uji		Satuan
			I	II	
Berat Wadah + Sampel Awal	W1		1002	1005	gr
Berat Wadah + Sampel Akhir	W2		987	984	gr
Berat Wadah	W3		502	505	gr
Berat sampel awal	A	(W1-W3)	500	500	gr
Berat Sampel Akhir	B	(W2-W3)	485	479	gr
Kadar Air Agregat	C	((A-B)/B) x 100	3.09	4.38	%
Rata -rata			3.74		%

Nilai rata-rata untuk kadar air yang diperoleh dari hasil analisis adalah 3,74 persen. Angka rata-rata ini didapatkan dari dua kali percobaan, yang pertama menghasilkan 3,09 persen dan yang kedua menghasilkan 4,38 persen.

3.9.4 Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kadar lumpur yang terdapat pada tiap agregat. Kadar lumpur yang berlebihan pada agregat dapat mempengaruhi ikatan antara semen dan agregat. Pengujian kadar lumpur mengikuti ketentuan SK

SNI S-04-1989-F tentang kadar lumpur agregat, yaitu agregat halus memiliki kadar lumpur maksimum 5%

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

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

Berikut adalah tabel hasil pengujian kadar lumpur pada agregat halus yang pengujiannya mengikuti aturan SNI S-04-1998-F:

Tabel 3.6 : Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

Keterangan	Notasi	Persamaan	Benda Uji		Satuan
			I	II	
Berat Wadah	W1		502	505	gr
Berat Wadah + Sampel Awal	W2		1502	1505	gr
Berat Wadah + Sampel Akhir	W3		1463	1472	gr
Berat sampel awal	A	(W2-W1)	1000	1000	gr
Berat Sampel Akhir	B	(W3-W1)	961	967	gr
Berat Kotoran Pada Agregat	C	(A-B)	39	33	gr
Persentase Kotoran		(C/A) x 100	3.9	3.3	%
Rata -rata			3.6		%

Standar SNI S-04-1998 mensyaratkan kadar lumpur maksimal pada agregat halus sebesar 5%. Dengan hasil pengujian yang menunjukkan nilai sampel 1 sebesar 3,9% dan sampel 2 sebesar 3,3% dengan rata rata persentase 3,6%, maka agregat yang digunakan dapat dinyatakan layak.

3.9.5 Berat isi Agregat Halus

Pengujian berat isi pada material dilakukan untuk menentukan berat isi suatu agregat halus. Berat isi adalah perbandingan antara berat material dan volume

material tersebut. Adapun langkah pengerjaannya adalah sebagai berikut,

1. Siapkan material yang akan diuji.
2. Menimbang berat wadah.
3. Mengukur tinggi dan berat wadah.
4. Mencari volume wadah.
5. Masukkan material dalam kondisi kering oven kedalam wadah baja sebanyak 1/3 nya lalu ditusuk dengan tongkat pemadat hingga 25 kali.
6. Lakukan hal yang sama pada ketinggian 2/3 wadah dan penuh.
7. Ratakan permukaan benda uji ketika wadah baja sudah terisi penuh.
8. Pastikan wadah baja terisi penuh setelah penusukan dan ratakan menggunakan mistar.
9. Timbang benda uji dan wadah lalu catat hasilnya.

Setelah dilakukan langkah pekerjaan diatas, maka dapat dilakukan analisa dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Berat contoh SSD dan berat wadah = W1

Berat wadah = W2

Volume wadah = V

Berat agregat (W3) = W1 - W2 (3.6)

Berat isi $= \frac{W3}{V}$ (3.7)

Secara rinci, tabel berikut menyajikan data hasil dari pengujian berat isi agregat halus, di mana pemeriksaannya dilakukan sesuai dengan standar SNI 03-4804-1998 dan dilakukan di Laboratorium Rekayasa Beton Universitas Sumatera Utara.

Tabel 3.7 : Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus

Keterangan	Notasi	Persamaan	Satuan	Cara Lepas	Cara Tusuk	Cara Goyang
Berat Sampel + Wadah	W1		gr	19072	20101	20621
Berat Wadah	W2		gr	5300	5300	5300
Berat Sampel	W3	W1-W3	gr	13772	14801	15321
Berat Sampel	W3	W1-W3	gr	13772	14801	15321
Volume Wadah	V1		cm^3	10851.84	10851.84	10851.84
Berat Isi		W3/V1	gr/cm^3	1.27	1.36	1.41
Rata-rata				1.35		

Berdasarkan tabel 3.7, didapatkan berat isi dengan 3 cara yaitu cara lepas cara tusuk dan cara goyang dengan nilai rata-rata berat isi 1,35 gr/cm³, agregat halus yang diuji berada dalam rentang yang disyaratkan untuk beton normal (1,5-1,8 gr/cm³). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa material tersebut telah memenuhi persyaratan.

3.10 Pemeriksaan Agregat Kasar

Sebagai salah satu material utama penyusun beton, agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini yang berasal dari Binjai telah melalui serangkaian pemeriksaan. Pemeriksaan ini bertujuan untuk memverifikasi kesesuaiannya dengan persyaratan melalui pengujian analisa saringan, berat jenis, berat isi, kadar air, dan kadar lumpur. Penelitian ini meliputi beberapa tahapan atau pemeriksaan, diantaranya:

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

3.10.1 Analisa Saringan Agregat Kasar

Penelitian ini mencakup pengujian analisis saringan yang bertempat di Laboratorium Rekayasa dan Bahan Beton, Universitas Sumatera Utara. Metodologi yang diterapkan mengikuti Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1968-1990. Pengujian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan material agregat kasar menurut distribusi ukuran partikelnya. Dari analisis ini, akan diperoleh data mengenai batas gradasi serta nilai modulus kehalusan agregat. Instrumen utama yang digunakan adalah satu set ayakan standar dengan ukuran 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", dan 3/8".

Sesudah pengujian dilakukan, akan didapatkan modulus kehalusan dengan memakai persamaan yang sama dengan persamaan (3.1) dan (3.2). Tabel di bawah ini menyajikan data hasil analisa saringan agregat kasar:

Tabel 3.8 : Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar

Ukuran Ayakan	*Retained Fraction*				*Cumulative*		Batas Zona Ukuran maks 20mm	
	Sampel 1	Sampel 2	Total	% Berat Tertahan	Berat Tertahan	Berat Lolos		
mm	gr	gr	gr	%	%	%	Min	Max
25,4	0	0	0	0	0	100	100	100
19,1	22	16	38	1,52	1,52	98	95	100
12,7	682	689	1371	55,02	56,54	43,46	20	50
9,52	425	442	867	34,79	91,33	8,67	0	15
4,75	120	96	216	8,67	100,00	0,00	0	5
Jumlah	1249	1243	2492		749,3981			

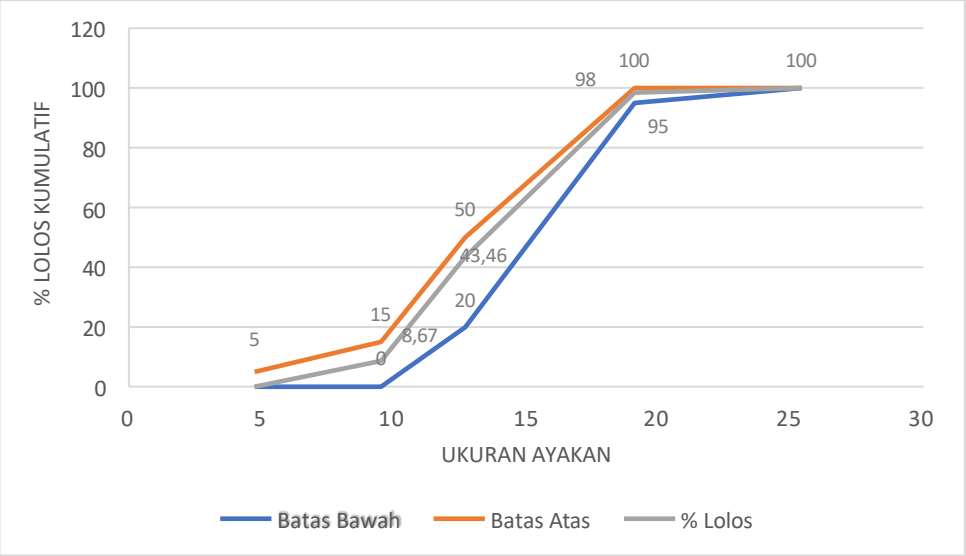
Berdasarkan Tabel 3.8 maka diperoleh nilai Modulus Halus Butir sebagai berikut :

$$FM = \frac{\sum Berat\ Tertahan\ Kumulatif}{100} \quad (3.8))$$

$$= \frac{749,3981}{100}$$

$$= 7,49$$

Hasil pemeriksaan menunjukkan Modulus Halus Butir (FM) agregat kasar adalah 7,49. Nilai ini masih memenuhi persyaratan karena berada dalam rentang standar 5-8 (ASTM C136). Selain itu, pengujian juga menetapkan ukuran maksimum agregat sebesar 20mm, seperti yang terlihat pada tabel dan grafik sebagai berikut :



Gambar 3.5 : Grafik Gradasi Agregat Kasar

3.10.2 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian ini mempunyai tujuan untuk mendapatkan nilai berat jenis dan penyerapan pada masing-masing agregat dalam kondisi *SSD*. Berikut adalah langkah langkah pengujian pada tahap ini:

1. Material yang sudah dalam kondisi *SSD* ditimbang sesuai berat sampel yang direncanakan.
2. Timbang dan catat berat piknometer.
3. Kemudian masukkan air kedalam piknometer dan timbang kembali.
4. Setelah itu masukkan material kedalam piknometer berisi air dan panaskan selama 15 menit sambil menggoyangkannya setiap 5 menit agar gelembung udara keluar.

Untuk menghitung berat jenis pada agregat halus persamaan di dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 3.9 : Persamaan menghitung berat jenis agregat halus

Perhitungan	**Notasi**
Berat jenis curah (Sd)	$\frac{A}{(B+S-C)}$
Berat jenis jenuh kering permukaan (S_s)	$\frac{S}{(B+S-C)}$
Berat jenis semu (Sa)	$\frac{A}{(B+A-C)}$
Penyerapan air (Sw)	$[\frac{S-A}{A}]$ x 100%

Keterangan :

A = Berat benda uji kering oven (gr)

B = Berat piknometer penuh berisi air (gr)

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

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

Tabel di bawah ini menyajikan data hasil uji berat jenis dan penyerapan agregat kasar, di mana pemeriksaannya dilakukan berdasarkan standar SNI 1969-2016.

Tabel 3.10 : Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat kasar

Nama Contoh		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Wt of SSD sample in Air (Berat contoh (SSD) kering permukaan jenuh) (A)	A	2402	2480	2441
Wt of SSD sample in Water (Berat contoh (SSD) didalam air) (B)	B	1428	1472	1450
Wt of Oven Dry Sample (Berat contoh (SSD) kering oven (110°C) Sampai Konstan (C)	C	2396	2474	2435
Bulk Sp. Gravity-SSD (Berat jenis contoh SSD)	$\frac{A}{A-B}$	2.466	2.460	2.46
Bulk Sp. Gravity-Dry (Berat Jenis contoh kering)	$\frac{C}{A-B}$	2.460	2.454	2.46
Apparent Sp. Gravity-Dry (Berat jenis contoh semu)	$\frac{C}{C-B}$	2.47521	2.469062	2.47
Penyerapan air (%)	$\frac{A-C}{C} x\ 100$	0.25	0.24	0.25

Agregat kasar yang diuji memiliki berat jenis rata-rata 2,46 dalam kondisi SSD (*Saturated Surface Dry)*, yang sesuai dengan standar normal (2,2 – 2,9). Selain itu, hasil pemeriksaan juga menunjukkan kemampuan penyerapan air yang didapat adalah 0,25%.

3.10.3 Kadar Air Agregat Kasar

Pengujian kadar air ini bertujuan untuk mengetahui persentase kandungan air dalam agregat. Kadar air dalam agregat akan mengubah ataupun mempengaruhi Faktor Air Semen (FAS) pada campuran beton. Semakin besar rasio air-semen semakin rendah kuat tekan bahan yang dihasilkan (Prasetio et al., 2020). Selain itu, pada tahun 1885 Prof. Duft Abraham merumuskan bahwa kekuatan beton sangat dipengaruhi oleh kadar air semen (Kasus et al., 2017). Berikut adalah tabel hasil

pengujian kadar air agregat halus yang pengerjaannya mengacu pada SNI 1971:2011 :

Tabel 3.11 : Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

Keterangan	Notasi	Persamaan	Benda Uji		Satuan
			I	II	
Berat Wadah + Sampel Awal	W1		1502	1505	gr
Berat Wadah + Sampel Akhir	W2		1491	1496	gr
Berat Wadah	W3		502	505	gr
Berat sampel awal	A	(W1-W3)	1000	1000	gr
Berat Sampel Akhir	B	(W2-W3)	989	991	gr
Kadar Air Agregat	C	((A-B)/B) x 100	1.11	0.91	%
Rata -rata				1.01	%

Dari hasil pengujian kadar air agregat yang sudah dilakukan didapat nilai rata-rata kadar air dari kedua sampel adalah sebesar 1,01 %.

3.10.4 Kadar Lumpur Agregat Kasar

Penentuan kadar lumpur dalam agregat merupakan prosedur pengujian yang esensial untuk memastikan kualitas campuran beton. Kehadiran lumpur dalam jumlah berlebih berpotensi melemahkan daya lekat antara pasta semen dan permukaan agregat. Sesuai dengan standar SK SNI S-04-1989-F, batas maksimum kadar lumpur yang diizinkan untuk agregat kasar adalah 1%..Berikut adalah tabel hasil pengujian kadar lumpur pada agregat kasar :

Tabel 3.12 : Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar

Keterangan	Notasi	Persamaan	Benda Uji		Satuan
			I	II	
Berat Wadah	W1		502	505	gr
Berat Wadah + Sampel Awal	W2		1502	1505	gr
Berat Wadah + Sampel Akhir	W3		1494	1499	gr
Berat sampel awal	A	(W2-W1)	1000	1000	gr
Berat Sampel Akhir	B	(W3-W1)	992	994	gr
Berat Kotoran Pada Agregat	C	(A-B)	8	6	gr
Persentase Kotoran		(C/A) x 100	0,8	0,6	%
Rata -rata			0,7%		%

Dari dua sampel yang diuji, diperoleh persentase kadar lumpur masing masing sebesar 0,8% (sampel 1) dan 0,6% (sampel 2). Dengan demikian, rata-rata kadar lumpur dari kedua sampel tersebut adalah 0,7%.

3.10.5 Berat isi Agregat Kasar

Pengujian berat isi, yang merupakan perbandingan antara berat material dan volumenya, dimulai dengan menyiapkan material uji dan sebuah wadah. Pertama, timbang berat wadah kosong, kemudian ukur dimensi seperti tinggi dan diameternya untuk menghitung volume wadah. Selanjutnya, masukkan material dalam kondisi kering oven ke dalam wadah secara bertahap dalam tiga lapisan. Setiap lapisan—saat wadah terisi sepertiga, dua pertiga, dan penuh—dipadatkan dengan cara ditusuk sebanyak 25 kali menggunakan tongkat pemadat. Setelah wadah terisi penuh, ratakan permukaannya menggunakan mistar. Langkah terakhir adalah menimbang berat total wadah yang telah terisi penuh dengan benda uji dan mencatat hasilnya.

Secara rinci, tabel berikut menyajikan data hasil dari pengujian berat isi agregat kasar di mana pemeriksaannya dilakukan sesuai dengan standar SNI 03-4804-1998:

Tabel 3.13 : Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar

Keterangan	Notasi	Persamaan	Satuan	Cara Lepas	Cara Tusuk	Cara Goyang
Berat Sampel + Wadah	W1		gr	23361	24223	24319
Berat Wadah	W2		gr	5300	5300	5300
Berat Sampel	W3	W1-W3	gr	18061	18923	19019
Volume Wadah	V1		cm^3	10851,84	10851,84	10851,84
Berat Isi		W3/V1	gr/cm^3	1,66	1,74	1,75
Rata-rata				1,72		

Rata-rata berat isi agregat kasar yang diperoleh adalah 1,72 gr/cm^3. Nilai ini merupakan hasil dari tiga metode pengujian, yaitu cara lepas (1,6 gr/cm^3), cara rojok (1,74 gr/cm^3), dan cara goyang (1,75 gr/cm^3).

3.11 Pembuatan Benda Uji

Setelah dilakukan pengujian pada tiap agregat, maka data data tersebut akan digunakan dalam perencanaan campuran beton. Perencanaan campuran beton disebut juga dengan proses *mix design*. Perencanaan ini nantinya akan menghasilkan persentase pada tiap komponen bahan pembentuk beton. Perencanaan *mix design* ini dilakukan sesuai ketentuan SNI 2834-2000 dan dilakukan di Laboratorium Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Persentase komponen material beton juga akan berbeda sesuai dengan mutu beton rencana yang akan dibuat. Setelah dilakukan perencanaan *mix design,* maka setiap material akan dicampurkan dengan alat *mixer,* lalu dicetak pada cetakan silinder dengan diamater 15cm dan tinggi 30cm. Adapun langkah dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut,

1. Menentukan mutu beton rencana, pada penelitian ini ditetapkan mutu beton *f'c* 20 Mpa.
2. Menentukan persentase komposisi bahan beton sesuai dengan persyaratan pada SNI 2834-2000.
3. Tetapkan faktor air semen berdasarkan kuat tekan rencana beton.
4. Menyiapkan tiap material sesuai dengan komposisi yang sudah direncanakan.
5. Mempersiapkan mesin *mixer* yang digunakan untuk mencampur tiap material komposisi beton.
6. Masukkan setiap material komposisi campuran beton yang sudah disiapkan sebelumnya kedalam *mixer* dimulai dari agregat kasar, agregat halus dan semen.
7. Tetapkan jumlah air, lalu masukkan air ke dalam *mixer* menggunakan gelas ukur sesuai dengan proporsi komposisi campuran yang sudah direncanakan sebelumnya.
8. Nyalakan mesin *mixer* dan tunggu hingga setiap material tercampur secara merata.
9. Setelah campuran beton terbentuk, keluarkan beton segar ke pan dan lakukan uji *slump* untuk mendapatkan nilai *slump*.
10. Menuang beton segar kembali ke dalam pan, lalu masukkan beton segar ke dalam cetakan sampai terisi 1/3 cetakan, lalu beton segar dirojok agar

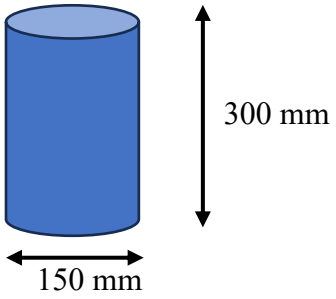
gelembung udara dalam beton segar dapat keluar. Lakukan tahap ini sampai terisi 2/3 cetakan dan hingga penuh dengan melakukan rojokan setelah tiap tahapnya

11. Tunggu hingga 24 jam hingga beton mengeras kemudian buka cetakan silinder.

Berikut adalah persentase campuran beton pada penelitian penggunaan limbah keramik sebagai pengganti agregat halus dan limbah hasil uji beton sebagai agregat kasar :

Tabel 3.14 : Persentase Campuran Beton

Tipe beton	Semen (%)	Air (%)	Agregat Kasar (%)	Agregat Halus (%)	Limbah Beton (%)	Limbah Keramik (%)
Beton normal	100	100	100	100	-	-
Beton Campuran Limbah Beton 1 Limbah Beton 10%	100	100	90	100	10	-
Beton Campuran Limbah Beton 2 Limbah Beton 15%	100	100	85	100	15	-
Beton Campuran Limbah Beton 3 Limbah Beton 20%	100	100	80	100	20	-
Beton Campuran 1 Limbah Keramik 12% Limbah Beton 10%	100	100	90	88	10	12
Beton Campuran 2 Limbah Keramik 12% Limbah Beton 15%	100	100	85	88	15	12
Beton Campuran 3 Limbah Keramik 12% Limbah Beton 20%	100	100	80	88	20	12



Gambar 3.6 : Dimensi Benda Uji

3.12 Pemeriksaan *Slump* Test

Pengujian *slump* test dilakukan untuk mengetahui tingkat konsistensi beton segar ataupun tingkat *workability* (tingkat kemudahan pengerjaan) suatu beton segar. Kelemahan uji *slump* test adalah tidak dapat mengukur kelecakan campuran beton yang kaku (Humaidi & Hafizh, 2011). Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat kerucut Abrams. Adapun langkah dalam pengujian *slump* adalah sebagai berikut:

1. Membersihkan kerucut abrams dari tanah ataupun agregat yang menempel dan memastikan kerucut abrams dalam kondisi kering agar tidak menambah kadar air beton segar.
2. Masukkan beton segar kedalam kerucut abrams secara bertahap dimulai dari 1/3, 2/3 hingga penuh.
3. Sama halnya dengan cetakan, beton pada kerucut abrams juga harus dirojok untuk mengeluarkan gelembung udara didalamnya.
4. Setelah kerucut abrams terisi penuh dan sudah dirojok, angkat kerucut abram hingga beton segar menyebar jatuh ke pan.
5. Letakkan kerucut abrams pada posisi terbalik
6. Letakkan tongkat rojokan di atas kerucut abram, tongkat rojokan ini adalah titik 0 perhitungan slump.
7. Ukur dan catat jarak antara bagian datar dari kerucut abrams sampai titik jatuh sebaran beton segar.

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

Tabel 3.15 Nilai *Slump* yang dianjurkan untuk konstruksi (SNI 7656:2012)

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

3.13 Perawatan (*curing*) Benda Uji

Perawatan benda uji (*curing*) bertujuan untuk menjaga atau memastikan beton dapat mencapai kekuatan dan kualitas optimal dari beton tersebut. Menurut (James et al., 2012) beton normal harus dirawat dengan metode water *curing* (penyiraman) untuk mencapai sifat pengerasan yang baik agar tidak kehilangan kelembaban, dan karena itu meningkatkan reaksi hidrasi semen. Hidrasi berkelanjutan sangat penting untuk dicapai untuk mempertahankan kadar air dan suhu, baik dalam beton maupun di permukaan beton dalam periode waktu tertentu (Dahlia Patah et al., 2022). Perawatan dilakukan sesuai dengan rencana umur beton yakni pada penelitian ini adalah 28 hari. Penyiraman dilakukan 3 kali setiap harinya selama 28 hari dengan rentang waktu 6 jam tiap penyiraman.

3.14 Kuat Tekan Beton

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui atau mengukur kemampuan beton dalam menahan beban tekan hingga batas kemampuan struktural beton tersebut. 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. Pengujian kuat tekan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat *Compression Testing*

Machine. Pengujian dilakukan dengan cara meletakkan sampel pada alat uji kuat tekan lalu sampel akan diberikan gaya tehan secara perlahan hingga beton mengalami keruntuhan.

Dari mesin kuat tekan tersebut akan diketahui nilai gaya yang mampu ditahan oleh beton tersebut. Maka dari gaya tersebut dapat dihitung nilai kuat tekan pada beton tersebut dengan persamaan,

$$f'c = \frac{P}{A} \tag{3.9}$$

Dimana :

f'c = Kuat Tekan beton (MPa)

P = Gaya yang bekerja (N)

A = Luas Penampang Benda Uji (mm²)

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

Gambar 3.7 : Ilustrasi uji kuat tekan beton

3.15 Analisa Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton adalah ukuran kemampuan suatu beton untuk mengembalikan bentuknya setelah terjadinya deformasi. Analisa modulus elastisitas pada penelitian ini dilakukan pada benda uji dengan umur 28 hari. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui nilai modulus elastisitas suatu beton.

Kriteria atau standar yang dipakai pada pengujian ini adalah SNI 2847:2019 dengan menggunakan persamaan.

$Ec = 4700 \sqrt{f'c}$ (Beton Normal) (3.10)

$Ec = Wc^{1,5}\ 0{,}043 \sqrt{f'c}$ (Untuk nilai wc di antara 1400 dan 2560 kg/m^3) (3.11)

Berikut adalah keterangan untuk persamaan di atas:

E = Modulus elastisitas beton

$f'c$ = Kuat tekan beton

Wc = Berat Jenis Beton

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Dalam rangka penelitian agregat, serangkaian pengujian telah dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara terutama terhadap agregat kasar dan halus untuk memperoleh data properti material, yang mencakup analisis saringan, berat jenis dan absorpsi, berat isi, serta kadar air dan lumpur.

4.2 Hasil Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton

Dalam rangka pemenuhan standar mutu bahan penyusun beton, telah dilakukan analisis properti material. Analisis ini meliputi pengujian untuk mendapatkan data berat jenis, kadar air, kadar lumpur, berat isi, penyerapan, dan hasil analisa saringan. Rekapitulasi nilai dari setiap pemeriksaan tersebut disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 : Hasil Pemeriksaan Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil
1	Analisa Saringan Agregat Kasar	Daerah gradasi agregat kasar maksimum 20mm
2	Analisa Saringan Agregat Halus	Daerah gradasi zona 2 "Pasir agak kasar"
3	Modulus Kehalusan Agregat Kasar	7,49
4	Modulus Kehalusan Agregat Halus	3,02
5	Berat Jenis Agregat Kasar	2,47 gr/cm^3
6	Berat Jenis Agregat Halus	2,48 gr/cm^3
7	Penyerapan Agregat Kasar	0,25 %
8	Penyerapan Agregat Halus	2,56 %
9	Kadar Lumpur Agregat Kasar	0,7 %
10	Kadar Lumpur Agregat Halus	3,6 %
11	Nilai *Slump* Rencana	75-100 mm

4.3 Rencana Campuran Beton

Rencana campuran beton adalah proses menentukan proporsi atau perbandingan bahan-bahan penyusun beton seperti semen, air, agregat kasar (kerikil/split), dan agregat halus (pasir) untuk menghasilkan beton dengan sifat-sifat yang diinginkan, terutama kekuatan tekan ,kemudahan pengerjaan, dan ketahanan.

4.3.1 *Mix Design* Beton

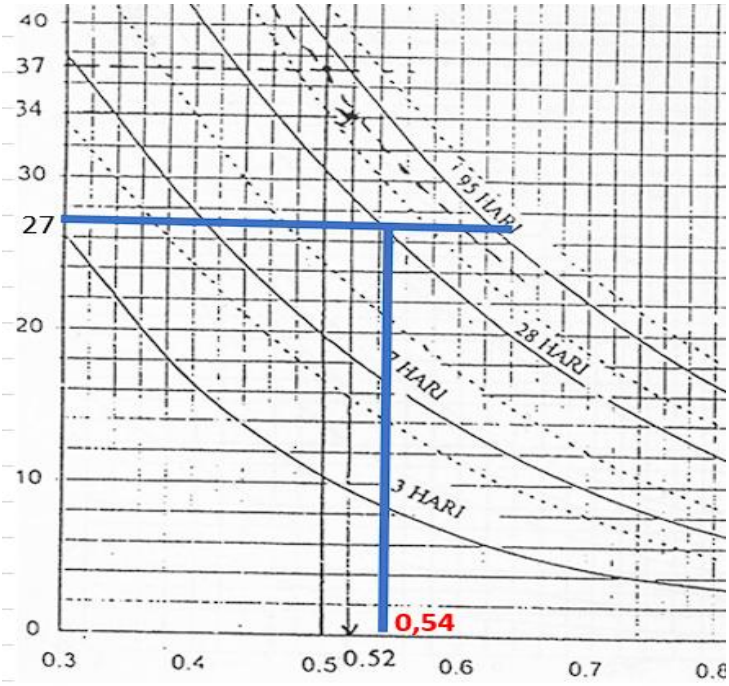
Berdasarkan data pengujian awal pada Tabel 4.1, penulis merencanakan komposisi campuran beton (*Mix Design*). Perencanaan ini bertujuan untuk menghasilkan beton dengan kuat tekan sesuai syarat, yaitu 20 Mpa. Seluruh proses perhitungan untuk menentukan proporsi campuran ini mengikuti standar Standar Nasional Indonesia SNI 2834- 2000 dan dilakukan di Laboratorium Rekayasa Beton Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Perencanaan campuran beton dilakukan melalui serangkaian langkah sistematis yang dilakukan peneliti bersama rekan rekan peneliti lainnya dalam membuat sampel akan diuraikan di bawah ini:

1. Kuat tekan rencana (f'c) adalah 20 Mpa dengan umur rencana 28 hari
2. Mengacu pada SNI 03-2847-2002, untuk perancangan beton tanpa riwayat data pengujian dan dengan kuat tekan rencana di bawah 21 MPa, maka digunakan standar deviasi atau nilai tambah sebesar 7 MPa.
3. Kuat tekan beton rata-rata direncanakan (f'cr) adalah

   F'cr = F'c + M (4.3)

   = 20 + 7

   = 27 Mpa
4. Semen yang digunakan adalah portland tipe 1.
5. Agregat halus yang digunakan adalah pasir alami yang masuk kedalam daerah gradasi zona 2 dan diperoleh Binjai.
6. Agregat kasar yang digunakan adalah kerikil/batu pecah yang dengan ukuran maksimum 19mm diperoleh dari Binjai.
7. Faktor air semen (FAS) yang digunakan untuk rencana umur beton 28 hari dan F'cr 27 Mpa adalah 0,54 mengacu pada grafik hubungan faktor air semen dan kuat tekan beton silinder 15x30 cm pada SNI 03-2834-2000.



Gambar 4.1 : Hubungan Faktor Air Semen Dan Kuat Tekan Beton

8. FAS maksimum untuk kondisi direncanakan beton diluar ruangan tidak terlindung hujan dan matahari adalah 0,6 dengan berat semen minimum 325 kg/m³ sesuai dengan persyaratan jumlah semen minimum dan factor air semen pada SNI 03-2834-2000 pada Tabel 4.12.

Tabel 4.2 : Tabel Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen

Lokasi ---	**Jumlah Semen minimum Per m³ beton (kg)**	**Nilai Faktor Air-Semen Maksimum**
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan:		
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah:		
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan:		
a. air tawar		
b. air laut		Lihat Tabel 6

9. Nilai *slump* yang direncanakan untuk perencanaan beton kali ini adalah 75-150mm.

10. Diperoleh nilai perkiraan jumlah air untuk agregat halus (Wh) adalah 195 sedangkan untuk agregat kasar (Wk) adalah 225 sehingga nilai kadar air bebas yang digunakan sebagai berikut :

Kadar Air Bebas $= \frac{2}{3}Wh + \frac{1}{3}Wh$ (4.4)

$= \frac{2}{3}195 + \frac{1}{3}225$

$= 204{,}9$ kg/m^3

11. Jumlah semen yang digunakan adalah :

W semen = W air / FAS (4.5)

= 204,9 / 0,54

= 379,44 kg/m³.

12. Persentase agregat halus didapat dengan cara membagi dua hasil dari penambahan batas atas persentase agregat halus dan batas bawahnya yang menghasilkan nilai persentase 47,5%
13. Persentase agregat kasar untuk agregat gabungan adalah 100% dikurang persentase agregat halus yaitu 57,5%.
14. Berat jenis agregat halus adalah 2,64 dan agregat kasar 2,45 berdasarkan pemeriksaan agregat yang telah dilakukan. Maka berat jenis agregat campuran adalah 2,53.
15. Berat isi beton basah didapat berdasarkan hitungan adalah 2250 kg/m³.
16. Kadar agregat campuran,

Ag camp = Berat isi beton – W semen – W air (4.6)

= 2250 – 379,44 – 204,9

= 1665,66 kg/m³.

17. Kadar agregat kasar dan agregat halus,

Ag Kasar = % ag kasar x Ag camp (4.7)

= 57,5 % x 1665,66

= 957,75 kg/m³.

Ag Halus = % ag halus x Ag camp (4.8)

= 42,5 % x 1665,66

= 707,90 kg/m³.

18. Perbandingan kadar semen, agregat halus, agregat kasar dan air pada rencana campuran beton untuk 1m³

Air = 204,9 kg/m^3 = 0,5

Semen = 379,44 kg/m^3 = 1

Agregat Halus = 707,90 kg/m^3 = 2

Agregat Kasar = 957,75 kg/m^3 = 3

4.3.2 Pembuatan Benda Uji

Dalam penelitian ini menggunakan silinder sebagai benda uji dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Jumlah sampel yang dibuat adalah 21 sampel. Berikut adalah langkah langkah dalam membuat sampel atau benda uji pada penelitian tugas akhir ini :

1. Proses Pengadukan Beton

Proses pengadukan beton dimulai dengan memasukkan sekitar 75% dari total takaran air ke dalam mesin pengaduk (mixer). Selanjutnya, agregat kasar, agregat halus, dan semen ditambahkan secara berurutan ke dalam mesin. Setelah semua bahan tersebut diaduk hingga rata, sisa 25% air kemudian dituangkan ke dalam adukan. Proses pengadukan dilanjutkan hingga campuran beton mencapai kondisi ideal, yang ditandai dengan warna yang seragam dan tekstur yang homogen. Setelah adukan tercampur sempurna, beton segar siap dituang ke dalam wadah atau pan untuk melanjutkan ke tahap pencetakan.

2. Proses Pencetakan Benda Uji

Sebelum adukan dituang ke dalam cetakan, wajib dilakukan uji kelecakan (*Slump* Test) untuk memastikan konsistensi adukan telah sesuai. Proses pencetakan dilakukan dengan mengisi cetakan secara bertahap dalam tiga lapisan yang sama tebal. Setiap lapisan dipadatkan dengan cara menusuk (merojok) adukan sebanyak 25 kali menggunakan batang baja berdiameter 16 mm. Setelah cetakan terisi penuh, sisi luar cetakan diketuk perlahan menggunakan palu karet untuk melepaskan gelembung udara yang terperangkap. Kemudian, permukaan atas beton diratakan. Cetakan dapat dilepaskan dari benda uji dalam rentang waktu 20 hingga 48 jam setelah proses pencetakan selesai.

3. Proses Perawatan Beton

Setelah cetakan dibuka, benda uji beton harus segera ditimbang untuk data awal. Selanjutnya, benda uji tersebut direndam secara menyeluruh di dalam bak

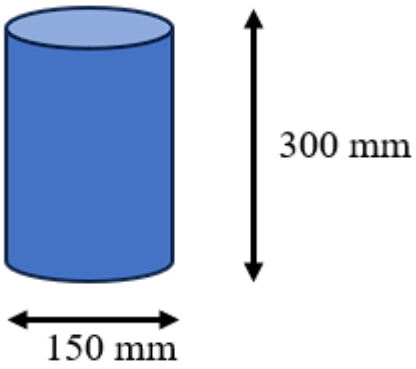
berisi air hingga mencapai umur pengujian yang telah direncanakan. Sangat penting untuk memastikan bahwa area penyimpanan atau perendaman benda uji bebas dari getaran, terutama selama 48 jam pertama. Hal ini bertujuan untuk menjaga agar proses pengerasan awal beton tidak terganggu sehingga hasilnya dapat maksimal.

4.4 Kebutuhan Material

Pada subbab ini penulis akan menjelaskan kebutuhan material pada suatu sampel benda uji. Adapun material yang dibutuhkan adalah material pembentuk benda uji beton dan juga material tambahan pada benda uji beton.

4.4.1 Kebutuhan Material Utama

Dari perencanaan campuran beton atau *mix design* tersebut, kita dapat menghitung jumlah material yang dibutuhkan untuk satu buah benda uji silinder dengan cara berikut :



Gambar 4.2 : Benda Uji Beton Silinder

Menggunakan cetakan silinder dengan ukuran sebagai berikut :

Tingggi silinder = 30cm = 0,30m

Diameter silinder = 15cm = 0,15m

Maka,Volume silinder yaitu : $\frac{1}{4}\pi D^2 t$ (4.9)

: $\frac{1}{4}.\pi.0{,}15^2.0{,}3$

: 0,0053 m^3

Maka kebutuhan material untuk setiap 1 benda uji adalah,

Air = 204,9 kg/m³ x 0,0053 m³ = 1,08 kg

Semen = 379,44 kg/m³ x 0,0053 m³ = 2,01 kg

Agregat Halus = 707,90 kg/m³ x 0,0053 m³ = 3,75 kg

Agregat Kasar = 957,75 kg/m³ x 0,0053 m³ = 5,07 kg

4.4.2 Kebutuhan Material Additif Limbah Beton

Dalam rangka mendukung pemanfaatan material berkelanjutan, bahan substitusi yang digunakan dalam penelitian ini adalah pecahan limbah beton (f'c 30 MPa) yang secara khusus diperoleh dari lingkungan Politeknik Negeri Medan. Untuk memenuhi standar gradasi agregat, limbah beton ini kemudian dihancurkan secara mekanis hingga mencapai ukuran yang lolos saringan 3/4" namun tertahan di 3/8". Guna menginvestigasi pengaruhnya secara bertahap, variasi persentase substitusi yang diterapkan adalah 10%, 15%, dan 20% dari total berat agregat kasar. Persentase tersebut diaplikasikan pada dua skenario pengujian yang berbeda: pertama, sampel beton dengan substitusi tunggal agregat kasar limbah beton, dan kedua, sampel beton dengan substitusi ganda yang mengombinasikan agregat kasar limbah beton dan agregat halus keramik. Rincian kuantitatif total kebutuhan limbah beton untuk keseluruhan penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.3 : Jumlah Berat Limbah Beton Benda Uji

Variasi	Persentase digunakan (%)	Berat Agregat Kasar (Kg)	Berat Limbah Beton (Kg)	Berat dibutuhkan untuk 3 sampel (Kg)
1	10	5.07	0.51	1.52
2	15	5.07	0.76	2.28
3	20	5.07	1.01	3.04
4	10	5.07	0.51	1.52
5	15	5.07	0.76	2.28
6	20	5.07	1.01	3.04
Total Berat Diperlukan				13.70

Dalam penelitian ini, total berat limbah beton yang akan digunakan untuk membuat benda uji beton yang menggunakan limbah beton adalah sebesar 13,70 kg.

4.4.3 Kebutuhan Material Additif Limbah Keramik

Melengkapi substitusi pada agregat kasar, penelitian ini juga mengaplikasikan material daur ulang untuk komponen agregat halus, yaitu dengan memanfaatkan abu limbah keramik. Bahan baku ini diperoleh dari sisa material bongkaran keramik hasil renovasi rumah, yang kemudian diproses secara khusus dengan cara dihaluskan hingga lolos saringan standar No. 4. Berbeda dengan komponen lain yang diuji dalam beberapa variasi, persentase substitusi abu keramik ditetapkan secara konstan sebesar 12% dari berat agregat halus, khususnya pada variasi campuran 4, 5, dan 6. Keputusan metodologis ini diambil dengan mengacu langsung pada temuan penelitian terdahulu oleh Ismawati & Andaryati (2024), yang menyatakan bahwa 12% merupakan persentase optimum untuk mencapai kuat tekan beton tertinggi. Oleh karena itu, perhitungan total berat abu limbah keramik yang dibutuhkan disajikan secara terperinci pada tabel berikut.

Tabel 4.4 : Jumlah Berat Abu Limbah Keramik Benda Uji

Variasi	Persentase digunakan (%)	Berat Agregat halus (Kg)	Berat Limbah Keramik (Kg)	Berat dibutuhkan untuk 3 sampel (Kg)
4	12	3.75	0.375	1.35
5	12	3.75	0.375	1.35
6	12	3.75	0.375	1.35
Total Berat Diperlukan				4.05

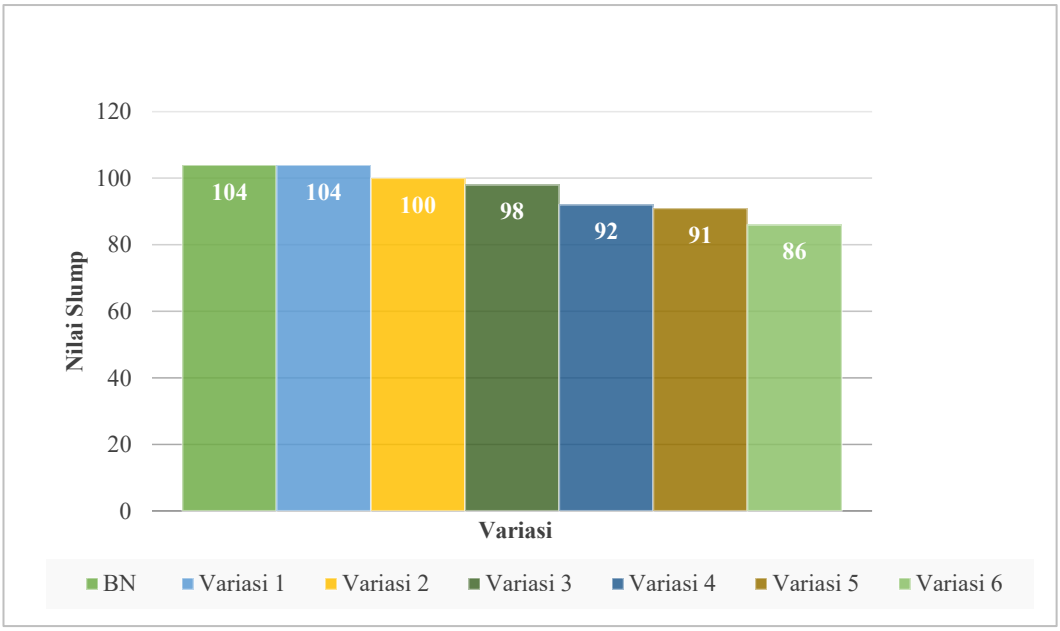
Dalam penelitian ini, total berat limbah keramik yang akan digunakan untuk membuat benda uji beton yang menggunakan limbah keramik adalah sebesar 4,05 kg.

4.5 Pengujian Slump

Pengujian *slump* dilakukan menggunakan kerucut Abrams yang diisi dengan beton segar dalam tiga lapis yang kira-kira sama tebal. Setiap lapisan dipadatkan dengan 25 kali tusukan menggunakan tongkat pemadat, memastikan tusukan menembus hingga ke dasar lapisan di bawahnya. Setelah terisi penuh dan permukaannya diratakan, cetakan kerucut diangkat secara vertikal tanpa gerakan memutar atau menyamping. Nilai *slump* adalah selisih antara tinggi awal kerucut

dengan tinggi adukan beton setelah mengalami penurunan. Seluruh rangkaian pengujian ini, dari awal pengisian hingga pengangkatan cetakan, harus diselesaikan tanpa gangguan dalam waktu maksimal 2,5 menit.

Penelitian ini menargetkan nilai *slump* antara 75-100 mm untuk mengukur tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) beton. Nilai *slump* yang lebih tinggi menunjukkan adukan beton yang lebih encer. Pengujian ini dilakukan pada sampel beton normal serta seluruh variasi campuran, baik yang hanya menggunakan limbah beton maupun yang dikombinasikan dengan limbah beton dan keramik. Hasil nilai *slump* yang didapatkan dari setiap campuran disajikan pada gambar grafik berikut.



Gambar 4.3 : Grafik Nilai *Slump*

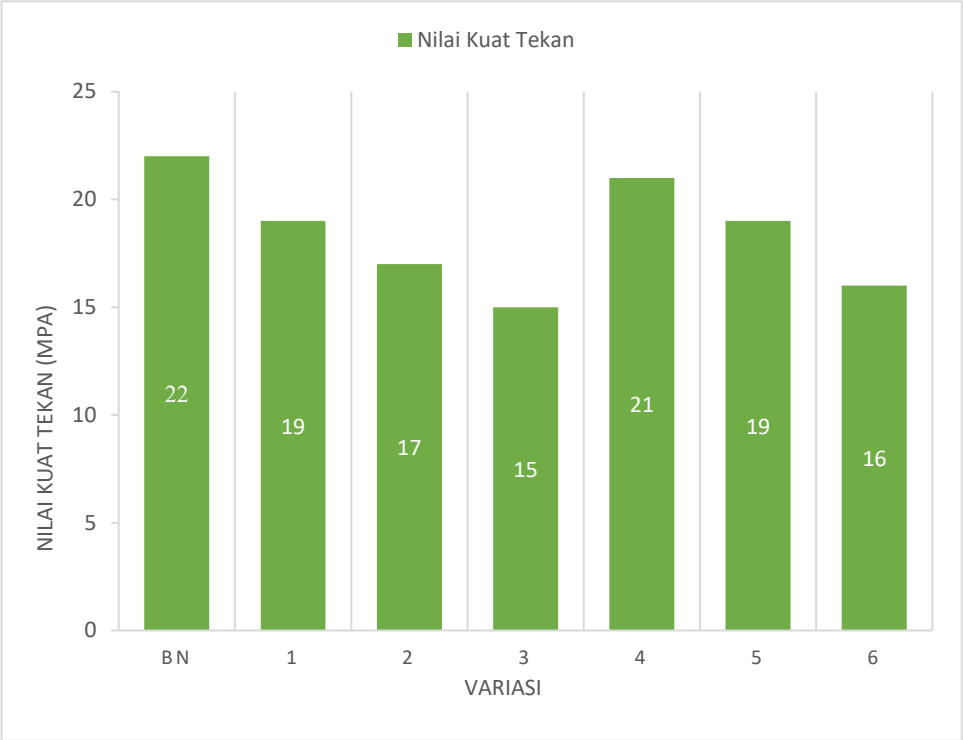
Gambar di atas menunjukkan bahwa nilai *slump* beton berbanding terbalik dengan jumlah limbah yang digunakan. Terlihat jelas bahwa nilai *slump* terus menurun dari variasi 1 sampai variasi 6. Secara rinci, variasi 1-3 (substitusi limbah beton 10%, 15%, 20%) menunjukkan penurunan *slump* seiring bertambahnya persentase limbah beton. Tren penurunan ini semakin tajam pada variasi 4-6, yang memiliki komposisi limbah beton yang sama namun dengan tambahan substitusi 12% abu keramik pada agregat halusnya. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kandungan limbah beton dan abu keramik, maka nilai *slump* beton akan semakin rendah dan campuran beton segar akan menjadi lebih kering dan kaku atau disebut kelecakan (*workability)* beton yang rendah.

4.6 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan dengan tujuan untuk menentukan kapasitas maksimum suatu sampel beton dalam menahan beban tekan. Pelaksanaan pengujian dalam penelitian ini berpedoman pada SNI 1974-2011, dan dilakukan ketika beton telah mencapai umur 28 hari. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan dimensi standar, yaitu diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Berikut adalah hasil kuat tekan yang diperoleh dari pengujian tersebut.

Tabel 4.5 : Hasil Uji Kuat Tekan

Variasi	Benda Uji	Luas (mm^2)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)
BN	1	17662.5	390	22	22
	2	17662.5	400	23	
	3	17662.5	360	20	
1	1	17662.5	360	20	19
	2	17662.5	320	18	
	3	17662.5	340	19	
2	1	17662.5	310	18	17
	2	17662.5	290	16	
	3	17662.5	280	16	
3	1	17662.5	260	15	15
	2	17662.5	270	15	
	3	17662.5	250	14	
4	1	17662.5	390	22	21
	2	17662.5	370	21	
	3	17662.5	370	21	
5	1	17662.5	340	19	19
	2	17662.5	310	18	
	3	17662.5	350	20	
6	1	17662.5	300	17	16
	2	17662.5	280	16	
	3	17662.5	250	14	



Gambar 4.4 : Grafik Diagram Kuat Tekan

Keterangan :

1. BN = Beton Normal (limbah beton 0%, abu limbah keramik 0%)
2. Variasi 1 = Sampel beton dengan 10% substitusi limbah beton pada agregat kasar
3. Variasi 2 = Sampel beton dengan 15% substitusi limbah beton pada agregat kasar
4. Variasi 3 = Sampel beton dengan 20% substitusi limbah beton pada agregat kasar
5. Variasi 4 = Sampel beton dengan 10% substitusi limbah beton pada agregat kasar dan 12 % abu limbah keramik pada agregat halus.
6. Variasi 5 = Sampel beton dengan 15% substitusi limbah beton pada agregat kasar dan 12 % abu limbah keramik pada agregat halus.
7. Variasi 6 = Sampel beton dengan 20% substitusi limbah beton pada agregat kasar dan 12 % abu limbah keramik pada agregat halus.

Hasil di atas menunjukkan dampak yang kontras antara kedua material substitusi. Di satu sisi, abu limbah keramik (12%) berperan positif dalam meningkatkan kuat tekan, yang mendukung penelitian Ismawati & Andaryati (2024). Di sisi lain, penambahan pecahan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar memberikan efek negatif, yaitu menurunkan kuat tekan seiring dengan bertambahnya persentase substitusi. Temuan ini mengkonfirmasi penelitian sebelumnya oleh Abibullah (2021).

4.7 Modulus Elastisitas

Berikut adalah pengujian modulus elastisitas mengikuti aturan SNI 2847:2019 dengan menggunakan persamaan :

$Ec = 4700 \sqrt{f'c}$ (4.10)

$Ec = Wc^{1,5}\ 0{,}043\ \sqrt{f'c}$ (Untuk nilai wc di antara 1400 dan 2560 kg/m^3) (4.11)

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

$$Wc = \frac{W}{V} \quad (4.12)$$

Dimana : W = Berat benda uji (kg)

V = Volume Silinder = 0,0053 m^3 (persamaan 4.9)

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

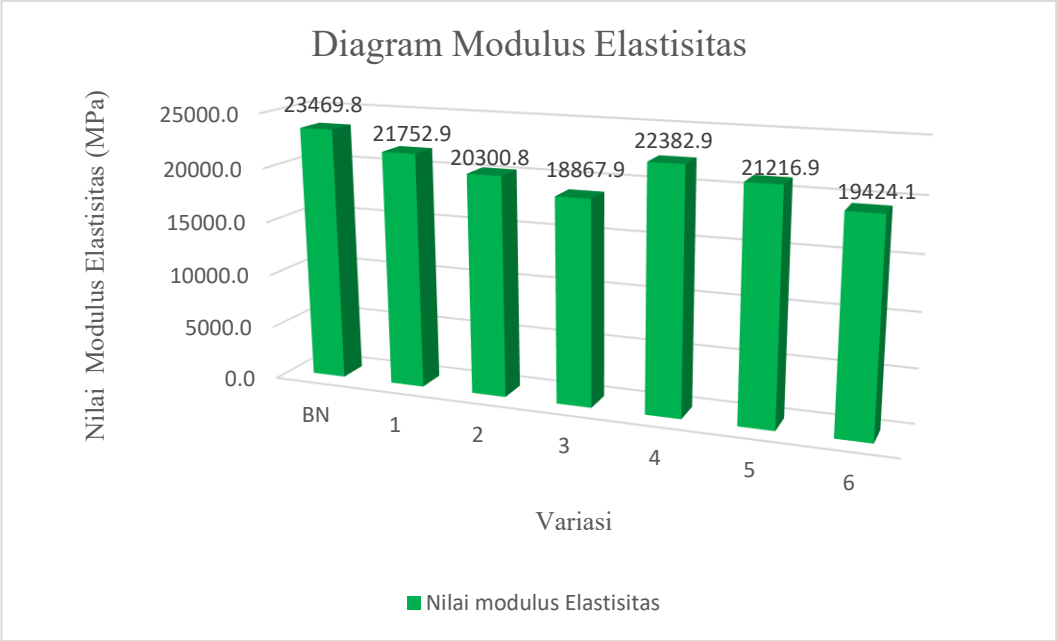
Tabel 4.6 : Berat Jenis Sampel Beton

Variasi	Benda Uji	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/m^3)
BN	1	12.785	2412.264151
	2	12.54	2366.037736
	3	12.755	2406.603774
1	1	12.69	2394.339623
	2	12.42	2343.396226
	3	12.555	2368.867925
2	1	12.635	2383.962264
	2	12.54	2366.037736
	3	12.615	2380.188679
3	1	12.53	2364.150943
	2	12.585	2374.528302
	3	12.345	2329.245283
4	1	12.315	2323.584906
	2	12.375	2334.90566
	3	12.415	2342.45283
5	1	12.46	2350.943396
	2	12.45	2349.056604
	3	12.39	2337.735849
6	1	12.54	2366.037736
	2	12.445	2348.113208
	3	12.44	2347.169811

Dari tabel tersebut, kita dapat menentukan bahwa persamaan modulus elastisitas yang akan dipakai adalah persamaan (4.11) dikarenakan semua berat jenis beton dibawah 2560 kg/m^3. Maka didapat tabel modulus elastisitas tiap sampel beton pada tabel berikut

Tabel 4.7 : Modulus Elastisitas Sampel Beton

Variasi	Benda Uji	Kuat Tekan (Mpa)	Berat Jenis (kg/m3)	Modulus Elastisitas	Modulus Elastisitas rata rata
BN	1	22.1	2412.3	23939.3	23469.8
	2	22.6	2366.0	23550.8	
	3	20.4	2406.6	22919.3	
1	1	20.4	2394.3	22744.3	21752.9
	2	18.1	2343.4	20762.8	
	3	19.2	2368.9	21751.7	
2	1	17.6	2384.0	20968.7	20300.8
	2	16.4	2366.0	20052.7	
	3	15.9	2380.2	19881.0	
3	1	14.7	2364.2	18964.5	18867.9
	2	15.3	2374.5	19453.2	
	3	14.2	2329.2	18185.9	
4	1	22.1	2323.6	22631.5	22382.9
	2	20.9	2334.9	22204.8	
	3	20.9	2342.5	22312.6	
5	1	19.2	2350.9	21505.3	21216.9
	2	17.6	2349.1	20509.9	
	3	19.8	2337.7	21635.6	
6	1	17.0	2366.0	20395.6	19424.1
	2	15.9	2348.1	19480.5	
	3	14.2	2347.2	18396.2	



Gambar 4.5 : Grafik Diagram Modulus Elastisitas

Dari grafik tersebut, terlihat tren yang menyerupai hasil uji kuat tekan beton, dimana adanya penurunan modulus elastisitas pada penambahan limbah beton, dan bertambahnya modulus elastisitas pada penambahan limbah keramik. Modulus elastisitas beton akan semakin menurun apabila limbah beton yang digunakan semakin banyak. Hal ini sesuai dengan hasil uji kuat tekan beton dimana hasil uji kuat tekan akan berbanding lurus dengan hasil modulus elastisitas beton. Penelitian ini sesuai dengan penelitian dahulu yang telah dilakukan oleh Soelarso, Baehaki, dan Nur Fatah Sidik (2016) tentang penggunaan limbah beton pada campuran beton dan Hermansyah, Dika Suryanto, dan Rasdiati (2022) tentang penggunaan limbah keramik pada campuran beton.

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Penelitian ini menunjukkan bahwa modulus elastisitas beton menurun seiring dengan peningkatan persentase limbah beton. Nilai terendah, yaitu 18867.9 MPa, tercatat pada campuran dengan 20% limbah beton. Sebaliknya, penambahan limbah keramik justru meningkatkan kembali modulus elastisitas. Kombinasi 10% limbah beton dan 12% limbah keramik menghasilkan nilai modulus elastisitas tertinggi, mencapai rata-rata 22382.9 MPa, sebelum akhirnya menurun kembali pada konsentrasi limbah beton yang lebih tinggi (15% dan 20%).
2. Berdasarkan data modulus elastisitas, efek negatif dari limbah beton terhadap modulus elastisitas dapat dimitigasi atau bahkan diatasi dengan menambahkan limbah keramik pada proporsi yang tepat dimana didapatkan modulus elastisitas optimum pada varian pemakaian limbah beton 10% dan limbah keramik 12% dengan nilai 22382.9 MPa.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya, dapat menggunakan limbah beton dengan *f'c* yang berbeda sehingga dapat mengetahui apakah ada perbedaan modulus pada limbah beton yang mempunyai kuat tekan yang berbeda.
2. Jenis limbah keramik yang digunakan harus seragam dan tidak berbeda, karena tidak semua keramik mempunyai komposisi tanah liat yang sama.
3. Perlu dilakukan perbandingan metode SNI 2847 – 2019 dengan pengujian menggunakan *Compressometer* dengan metode standar ASTM-C469
4. Untuk menggunakan masker sebagai pelindung hidung saat membuat serbuk keramik (dari keramik menjadi halus).

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. (2013). SNI-2847-2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung SNI, 265.

Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI-2493:2011. Tata Cara Pembuatan Dan Perawatan Benda Uji Beton Di Laboratorium, 23. www.bsn.go.id

Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI-1971:2011. Cara Uji Kadar Air Total Agregat Dengan Pengeringan", 1–11.

Badan Standardisasi Nasional. (1974). Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000. Tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal, 3, 2834.

Badan Standarisasi Nasional. (2012). SNI 7656:2012. Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat Dan Beton Massa, 52.

Badan Standarisasi Nasional. (1998). SNI 03-4804-1998. Metode Pengujian Bobot Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat, 1–6.

Badan Standarisasi Nasional. (2002). SNI 03-2461-2002. Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural, 1–8.

Badan Standarisasi Nasional. (2008). SNI 1969:2008. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar.

Badan Standarisasi Nasional. (2002). SNI 03-2847-2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung., 251.

Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI-2847-2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, 720.

Badan Standarisasi Nasional. (2004). SNI 15-2049-2004. Semen Portland, 128. https://doi.org/10.1891/jnum.10.1.5.52550

Badan Standarisasi Nasional. (2016). SNI 1970 : 2016, Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.

Dwi Prakasa, I., & Safitri, D. (2021). Pengujian Kadar Air Agregat Halus. Ilmuteknik.Org, 1(3), 2021–2022.

Hermansyah, H., Suryanto, D., & Rasdiati, R. (2022). Pengaruh Penambahan Serbuk Limbah Keramik Terhadap Peningkatan Nilai Kuat Tekan Beton. Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil, 5(1), 113. https://doi.org/10.31602/jk.v5i1.7234

James, O., Ndoke, P. N., & Kolo, S. S. (2012). Effect of different curing methods on the compressive strength of concrete.

Kasus, S., Jl, P., Agung, S., Pramita, G., Lestari, F., Teknik, F., Studi, P., Sipil, T., & Indonesia, U. T. (2017). Analisis Kinerja Persimpangan Bersinyal di Kota Bandar Lampung pada Masa Pandemi Covid -19. 19

Mulyono, T., 2004., Teknologi Beton, Andi, Yogyakarta.

Nazir,M. 2003. Metode Penelitian. Jakarta : Ghalia Indonesia

Patah, D., Dasar, A., & Indrayani, P. (2022). Pengaruh Perbedaan Metode Perawatan Terhadap Kuat Tekan Beton. BANDAR: Journal of Civil Engineering, 4(1), 1–9.

Patah, D., & Dasar, A. (2022). Pengaruh Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton. JURNAL TEKNOLOGI TERPADU, 10(2), 158–163.

Prasetio, A., Pangestu, A., Defrindo, Y., & Lestari, F. (2020). RENCANA PEMBANGUNAN SANITASI BERBASIS LINGKUNGAN DI DESA DADISARI KABUPATEN TANGGAMUS. Jurnal Teknik Sipil, 1(1), 26–32.

Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. (1990). SNI 03-1968-1990. Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar., 1–17.

Setiawan, Agus., 2016, Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013. Erlangga. Jakarta.

SK SNI S-04-1989-F. Specifikasi Bahan Bangunan Bagian A. Badan Standar Nasional (BSN)

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). https://doi.org/10.36055/jft.v5i2.1254

Vivi Bachtiar, M. Yusuf, ., Salain, A. K., Widiarsa, R., NASIONAL, M. P., Humaidi, M., & Hafizh, M. (2006). Pengaruh Nilai *Slump* Terhadap Kuat Tekan, 10(2), 19–29. http://digilib.unila.ac.id/4949/15/BAB II.pdf

LAMPIRAN

Gambar L.1 Agregat Halus

Gambar L.2 Agregat Kasar

Gambar L.3 Limbah Beton

Gambar L.4 Limbah Keramik

Gambar L.5 Satu Set Saringan

Gambar L.6 Cetakan Silinder 15x30 cm

Gambar L.7 Oven

Gambar L.8 Gelas Ukur

Gambar L9. Timbangan

Gambar L10. Palu Karet

Gambar L11. Sekop Tangan

Gambar L12. Kerucut Abrams

Gambar L13. Spiritus

Gambar L14. Timbangan Dunagan

Gambar L15. Statip

Gambar L16. Oli

Gambar L17. Tongkat Rojokan

Gambar L18. Plastik 10 Kg

Gambar L19. Mempersiapkan/Menghancurkan Limbah Beton

Gambar L20. Proses *Mixing*

Gambar L21. Merojok Beton Segar

Gambar L22. Cek *Slump*

Gambar L23. Slump Beton Normal

Gambar L24. Slump Beton Varian 1

Gambar L25. Memasang Cetakan

Gambar L26. Merojok Beton Segar Pada Cetakan

Gambar L27. Memukul Cetakan Dengan Palu Karet

Gambar L28. Proses *Curing*

Gambar L29. Uji Kuat Tekan

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Faisal Ramli Dalimunthe
Panggilan : Faisal / Ical
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 10 September 1994
Jenis Kelamin : Laki Laki
Alamat : Jl. Bunga Cempaka No. 32C, Medan
Agama : Islam

Nama Orang Tua
Ayah : Ahmad Rifai Dalimunthe
Ibu : Purnama Dewi Daulay
No.HP : 081910568544
E-Mail : faisalramlid@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 2107210186
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Alamat
Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SD Kemala Bhayangkari 1	2006
2	SMP	SMP Sutomo 1	2009
3	SMA	SMA Harapan 1	2012
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2021 sampai selesai.		