SKRIPSI

PENGARUH PEMANFAATAN LIMBAH BONGKAHAN BETON SEBAGAI AGREGAT KASAR TERHADAP PERILAKU BETON MUTU TINGGI

Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Studi
Pada Program Studi Teknik Sipil Jenjang Strata I
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Mataram

DISUSUN OLEH :
VIVIN NOVIANASARI
418110011

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM

TAHUN 2022

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

SKRIPSI

PENGARUH PEMANFAATAN LIMBAH BONGKAHAN BETON SEBAGAI AGREGAT KASAR TERHADAP PERILAKU BETON MUTU TINGGI

Disusun oleh:

VIVIN NOVIANASARI

418110011

Mataram, 25 Juli 2022

Pembimbing I,	Pembimbing II,
Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc(Eng).	**Dr. Heni Pujiastuti, ST., MT.**
NIDN. 0027107301	**NIDN. 0828087201**

Mengetahui,

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM

FAKULTAS TEKNIK

Mewakili Wakil Dekan I

Dekan,

Fariz Primadi Hirsan, ST.,MT

NIDN. 0804118001

Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT.

NIDN.0824017501

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

SKRIPSI

PENGARUH PEMANFAATAN LIMBAH BONGKAHAN BETON SEBAGAI AGREGAT KASAR TERHADAP PERILAKU BETON MUTU TINGGI

Yang Dipersiapkan dan Disusun Oleh :

NAMA : VIVIN NOVIANASARI

NIM : 418110011

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji

Pada hari, Selasa, 02 Agustus 2022

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

Penguji I : Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT.

Penguji II : Dr. Heni Pujiastuti, ST., MT.

Penguji III : Titik Wahyuningsih, ST., MT.

Mengetahui,

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM

FAKULTAS TEKNIK

Dekan,

Mewakili, Wakil Dekan I

Fariz Primadi Hirsan, ST ,MT

NIDN. 0804118001

Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST.,MT.

NIDN : 0824017501

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi dengan judul :

"PENGARUH PEMANFAATAN LIMBAH BONGKAHAN BETON SEBAGAI AGREGAR KASAR TERHADAP PERILAKU BETON MUTU TINGGI"

Benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide, data penelitian, maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung bersumber dari penulis atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Skripsi ini dan disebut dalam daftar pustaka. Apabila terbukti dikemudian hari bahwa Skripsi ini merupakan hasil plagiasi, maka ijazah yang saya peroleh dinyatakan batal dan akan saya kembalikan kepada Rektor Universitas Muhammadiyah Mataram.

Demikian surat pernyataan ini saya buat tanpa tekanan dari pihak manapun dan dengan kesadaran penuh terhadap tanggung jawab dan konsekuensi.

Mataram, Agustus 2022

VIVIN NOVIANASARI

418110011

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT
Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : http://www.lib.ummat.ac.id E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Vivin Novianasari
NIM : 418110011
Tempat/Tgl Lahir : Langko, 12 Agustus 2000
Program Studi : Teknik sipil
Fakultas : Teknik
No. Hp : 087882037975
Email : vivinoviana001@gmail.com

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi/KTI/Tesis* saya yang berjudul :

PENGARUH PEMANFAATAN LIMBAH BONGKAHAN BETON SEBAGAI AGREGAT KASAR TERHADAP PERILAKU BETON MUTU TINGGI

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 46%

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian dari Skripsi/KTI/Tesis* tersebut terdapat indikasi plagiarisme atau bagian dari karya ilmiah milih orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dan disebutkan sumber secara lengkap dalam daftar pustaka, saya ***bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum*** sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Mataram.

Demikain surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun dan untuk dipergunakan sebagai mana mestinya.

Mataram, 22 Agustus 2022
Penulis

VIVIN NOVIANASARI
NIM. 418110011

Mengetahui,
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT

Iskandar, S.Sos.,M.A
NIDN. 0802048904

*pilih salah satu yang sesuai

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT
Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : http://www.lib.ummat.ac.id E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : VIVIN MOVIANASARI
NIM : 418110011
Tempat/Tgl Lahir : Langko, 12 Agustus 2000
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
No. Hp/Email : 087882037875 / vivinovianaoo1@gmail.com
Jenis Penelitian : ☑ Skripsi ☐ KTI ☐ Tesis ☐

Menyatakan bahwa demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Mataram hak menyimpan, mengalih-media/format, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Repository atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama ***tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta*** atas karya ilmiah saya berjudul:

PENGARUH PEMANFAATAN LIMBAH BONGKAHAN BETON SEBAGAI AGREGAT KASAR TERHADAP PERILAKU BETON MUTU TINGGI

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi.
Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada unsur paksaan dari pihak manapun.

Mataram, 22 Agustus 2022
Penulis

METERAI TEMPEL 1F8AJX976629813

VIVIN MOVIANASARI
NIM. 418110011

Mengetahui,
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT

Iskandar, S.Sos.,M.A.
NIDN. 0802048904

MOTTO HIDUP

Rahasia sukses adalah Mengetahui yang orang lain tidak ketahui.

– Aristotle Onassis

Akan selalu ada akhir yang baik jika kamu tidak menyerah dari impianmu

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah Subhanahu Wata'ala, yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Adapun tugas ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi bagi mahasiswa untuk memperoleh gelar sarjana dalam bidang Rekayasa Sipil serta untuk menempuh ujian tingkat sarjana pada fakultas teknik.

Dengan penuh harapan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Dan dengan segala kerendahan hati penulis banyak mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. H. Arsyad Abd. Gani, M.Pd. selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Mataram.
2. Dr. Eng. M.Islamy Rusyda, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram
3. Agustini Ernawati, ST., M.Tech. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc (Eng). selaku dosen pembimbing dalam menyusun tugas akhir ini.
5. Dr. Heni Pujiastuti, ST., MT. selaku dosen pembimbing pendamping dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Bapak/Ibu Dosen dan segenap Staff Faluktas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
7. Kedua orang tua saya ibu mariani dan bapak saripudin, saudara-saudari dan semua keluarga yang selalu memberikan dukungan dan do'a yang tiada hentinya demi kelancaran dan kesuksesan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Sahabat-sahabat dan khusunya Reni Diah Nita Kumara, terimkasih karena sudah selalu mensupport, selalu menemani dan sangat membantu dalam penelitian skripsi ini.
9. Keluarga sipil kelas A seperjuangan yang selalu kompak dalam hal apapun dikampus maupun diluar kampus dan terimakasih karena sudah selalu

membantu dalam penelitian skripsi ini juga sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sampai selesai dengan lancar.

10. Dan untuk teman-teman angakatan 2018 yang sudah sama-sama berjuang selama 4 tahun ini, terima kasih juga atas motivasi, bantuan dan dukungannya. Serta masih banyak lagi yang tak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Mengingat masih banyak adanya kekurangan-kekurangan yang belum dapat dikatakan sempurna, sehingga penulis sangat mengharapkan saran-saran maupun kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhir kata semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukannya.

Mataram, Agustus 2022

Penulis,

Vivin Novianasari

ABSTRAK

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi dalam pekerjaan sipil yang penting dalam pembangunan. Akan tetapi, seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin meningkat kebutuhan akan material beton juga semakin meningkat. Sehingga perlu dilakukan langkah inovasi untuk megantisipasi dampak buruk yang akan timbul dikemudian hari. Salah satu inovasi yang dilakukan adalah dengan memanfaatkan limbah bongkahan beton sebagai pengganti agregat kasar.

Penelitian ini merencanakan beton mutu tinggi dengan kuat tekan yang direncanakan adalah 50 MPa. Bongkahan limbah beton digunakan sebagai substitusi agregat kasar kerikil dengan variasi sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Dan menggunakan *Superplsticizer* sebesar 0,625% dari berat semen. Benda uji yang digunakan adalah silinder dengan ukuran diameter dan tinggi yaitu 15 cm dan 30 cm dan *double-L* dengan ukuran 30 cm x 20 cm x 7,5 cm. Pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat geser.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar penggunaan limbah beton, semakin mengalami penurunan yang terjadi pada nilai pengujiannya. Pada pengujian kuat tekan dengan variasi campuran 25% dan 50% mengalami penurunan sebesar -6,492% dan -13,058% tetapi masih dalam batas nilai beton mutu tinggi menurut SNI 03-6468-2000 yaitu lebih besar dari 41,4 MPa. Pada pengujian kuat tarik belah beton mengalami penurunan tetapi masih dalam batas nilai kuat tarik belah normal yang berkisaran antara 9%-15% dari kuat tekannya (Dipohusodo,1996). Sedangkan pada pengujian kuat geser mengalami penurunan juga tetapi masih dalam batas nilai kuat geser menurut Nawy tahun 1990 yang berkisaran antara 20%-85% dari kuat tekannya.

Kata Kunci: *Limbah Beton, Mutu Tinggi, Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Kuat Geser*

ABSTRACT

One of the building materials used in civil works, which is crucial in construction, is concrete. However, as technological advancements continue to grow, so makes the demand for concrete materials. To prepare for the negative effects that will occur in the future, new measures must be taken. One of the advances is the use of leftover concrete pieces in place of coarse aggregate. With a planned compressive strength of 50 MPa, high-strength concrete is planned in this study. Variations of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100% of coarse gravel aggregate are substituted with chunks of concrete scrap. Furthermore employing a Superplsticizer of 0.625% of the cement's weight. The test object is a double-L with dimensions of 30 cm x 20 cm x 7.5 cm and a cylinder with dimensions of 15 cm in diameter and 30 cm in height. Compressive strength, split tensile strength, and shear strength are the tests. The results showed that the greater the use of concrete waste, the more decreased the test value. The compressive strength test with a mixture variation of 25% and 50% decreased by -6.492% and -13.058% but was still within the limits of the value of high-strength concrete according to SNI 03-6468-2000, which is greater than 41.4 MPa. Although concrete's tensile strength has reduced throughout testing, it remains within the usual range of split tensile strength, which is between 9% and 15% of its compressive strength (Dipohusodo, 1996). The shear strength test also showed a decline, but it remained within Nawy's range for shear strength in 1990, which was 20% to 85% of compressive strength.

***Keywords**: Waste Concrete, High Quality, Compressive Strength, Split Tensile Strength, Shear Strength*

MENGESAHKAN
SALINAN FOTO COPY SESUAI ASLINYA
MATARAM
KEPALA
UPT P3B
UNIVERSITAS MUHAMMAADIYAH MATARAM
Humaira, M.Pd
NIDN. 0803048601

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI ..... **ii**

LEMBAR PENGESAHAN UJI SKRIPSI ..... **iii**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KATYA TULIS ..... **iv**

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME ..... **v**

SURAT PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH ..... **vi**

MOTTO HIDUP ..... **vii**

KATA PENGANTAR ..... **viii**

ABSTRAK ..... **x**

ABSTRACT ..... **xi**

DAFTAR ISI ..... **xii**

DAFTAR GAMBAR ..... **xv**

DAFTAR TABEL ..... **xvi**

DAFTAR ISTILAH ..... **xvii**

DAFTAR NOTASI ..... **xviii**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **xix**

BAB I PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Tujuan Penelitian 3

1.4 Manfaat Penelitian 3

1.5 Batasan Masalah 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI **5**

2.1 Tinjauan Pustaka 5

2.2 Landasan Teori 7
2.2.1 Beton 7
2.2.2 Material Penyusun Beton 9
2.2.2.1 Semen *Portland* 9
2.2.2.2 Agregat 10
2.2.2.3 Air 18
2.2.2.4 Limbah Beton 19
2.2.2.5 *Superplasticizer Sikacim concrete* 20
2.2.3 Faktor Air Semen 21
2.2.4 Pengujian *Workability* 21
2.2.5 Pemeliharaan Beton 22
2.2.6 Kuat Tekan Beton 23
2.2.7 Kuat Tarik Belah 24
2.2.8 Kuat Geser 25
BAB III METODE PENELITIAN 27
3.1 Lokasi Penelitian 27
3.2 Alat dan Bahan Penelitian 27
3.2.1 Peralatan 27
3.2.2 Bahan 28
3.3 Kebutuhan Benda Uji 29
3.4 Pelaksanaan Penelitian 29
3.4.1 Tahap Persiapan 29
3.4.2 Tahap Pengujian Bahan 29
3.4.3 Perencanaan Campuran Beton 33
3.4.4 Pengujian *Workability* (*Slump*) 33
3.4.5 Pembuatan Benda Uji 34
3.4.6 Pengujian Kuat Tekan Beton 34
3.4.3 Pengujian Kuat Tarik Belah 35
3.4.3 Pengujian Kuat Geser Beton 36
3.4.3 Bagan Penelitian 37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 38

4.1 Hasil Pemeriksaan Bahan 38
4.1.1 Agregat Halus 38
4.1.1.1 Hasil Pengujian Berat Satuan 38
4.1.1.2 Gradasi Agregat 41
4.1.1.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air ... 42
4.1.1.4 Hasil Pengujian Kadar Air 43
4.2.1 Agregat Kasar 43
4.1.2.1 Hasil Pengujian Berat Satuan 43
4.1.2.2 Gradasi Agregat 46
4.1.2.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air ... 47
4.1.2.4 Hasil Pengujian Kadar Air 48
4.2 Desain Campuran Bahan Penyusun Beton 48
4.3 *Workability* Beton 49
4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan 49
4.5 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah 51
4.6 Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Belah 53
4.7 Kuat Geser Beton 56
4.8 Hubungan Kuat Geser dan Kuat Tekan Beton 58
BAB V PENUTUP 62
5.1 Kesimpulan 62
5.2 Saran 62
DAFTAR PUSTAKA 64
LAMPIRAN .....

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sketsa Kerucut *Abrams* 22

Gambar 2.2 Pengujian Kuat Tekan 24

Gambar 2.3 Pengujian Kuat Tarik Belah 25

Gambar 2.4 Spesifikasi dan Benda Uji *Double-L* 26

Gambar 4.1 Grafik Gradasi Agregat Halus 42

Gambar 4.2 Grafik Gradasi Agregat Kasar 47

Gambar 4.3 Grafik Hubungan Nilai *Slump* dengan Varias Limbah Beton 49

Gambar 4.4 Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder 50

Gambar 4.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder 50

Gambar 4.6 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Silinder 52

Gambar 4.7 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Silinder 52

Gambar 4.8 Grafik Hubungan *Fct* dengan *F'c* 53

Gambar 4.9 Ilustrasi Permodelan Kuat Tarik Belah 54

Gambar 4.10 Garfik Hubungan anatar *Fct* (1+V) dengan $\sqrt{f'c}$ 55

Gambar 4.11 Pengujian Kuat Geser Beton 57

Gambar 4.12 Hasil Pengujian Kuat Geser Beton 57

Gambar 4.13 Ilustrasi Permodelan Kuat Geser 59

Gambar 4.14 Grafik Hubungan *Fgeser* dengan *F'c* 60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batasan Susunan Butiran Agregat Halus 13

Tabel 2.2 Batasan Gradasi Agregat Kasar 16

Tabel 3.1 Kode dan Jumlah Perkiraan Benda Uji 29

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Berat Satuan Padat Agregat Halus 38

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Berat Satuan Lepas Agregat Halus 39

Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Analisa Gradasi Agregat Halus 41

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air 42

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus 43

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Berat Satuan Padat Agregat Kasar 43

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Berat Satuan Lepas Agregat Kasar 44

Tabel 4.8 Hasil Pemeriksaan Analisa Gradasi Agregat Kasar 46

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air 47

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar 48

Tabel 4.11 Kebutuhan Bahan Penyusun Beton Per 1 m^3 48

Tabel 4.12 Selisih Nilai Kuat Tekan Beton 51

Tabel 4.13 Selisih Nilai Kuat Tarik Belah Beton 53

Tabel 4.14 Hasil Kuat Tarik Belah (*Fct*) Secara Matematis 55

Tabel 4.15 Hubungan antara Kuat Tarik Belah dengan Kuat tekan 56

Tabel 4.16 Selisih Nilai Kuat Geser Beton 58

Tabel 4.17 Hasil Kuat Geser (*Fgeser*) secara Matematis 60

Tabel 4.18 Hubungan Kuat Geser (*Fgeser*) dengan Kuat Tekan (*F'c*) 61

DAFTAR ISTILAH

Absorption	= Penyerapan Air
Mix Design	= Campuran Beton
High Strength Concrete	= Beton Mutu Tinggi
Fineness Modulus	= Modulus Kehalusan
Workability	= Kelecakan
Strength	= Kekuatan
Durability	= Keawetan
Glassy	= Sangat Halus
Saturated Surface Dry	= Kering Jenuh Muka
Fresh Concrete	= Beton Segar
Curing	= Perawatan Beton
Hard Concrete	= Beton Yang Mengeras
Additive	= Bahan Tambah

DAFTAR NOTASI

f'c = Kuat Tekan Beton

fct = Kuat Tarik Beton

P = Beban Maksimum

A = Luas Penampang Benda Uji

MPa = Mega Pascal

kN = Kilo Nwton

N = Newton

Mm = MIlimeter

Kg = Kilo Gram

V = Volume

fgeser = Kuat Geser

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumen

Lampiran 2. Hasil Pengujian Agregat

Lampiran 3. Perhitungan Mix Design dan Kebutuhan

Lampiran 4. Hasil Pengujian Slump

Lampiran 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan, Tarik, dan Geser

Lampiran 6. Dokumentasi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada masa ini, penggunaan material beton terus meningkat, seperti pembangunan gedung bertingkat, jembatan bentang panjang, menara, dll. Struktur ini memerlukan beton mutu tinggi yang mampu untuk menahan beban yang bekerja pada komponen struktur yang ukurannya relatif kecil. Laju pembangunan yang semakin pesat telah menyebabkan peningkatan permintaan akan material beton.

Pemenuhan keperluan bahan beton akan menyebabkan memuncaknya penggunaan bahan alam berupa pasir dan kerikil. Oleh karena itu, diperlukan langkah-langkah inovatif untuk memprediksi dampak negatif di masa depan akibat eksploitasi berlebihan terhadap batuan alam.

Di lain sisi, juga terdapat gedung lama yang terpaksa dibongkar karena rusak dan harus segera dirobohkan karena sudah tidak layak huni lagi. Pembuangan limbah puing-puing pembongkaran membutuhkan biaya dan lokasi pembuangan. Selain itu, ada juga banyak proyek yang menggunakan pasokan terus menerus dari beton tuang atau beton siap pakai dalam jumlah besar untuk menyelesaikan penuangan dengan lancar. Saat diaplikasikan di lapangan, seringkali terjadi kelebihan pasokan beton dan sisanya hanya pemborosan. Ketika beton dibuang, campuran beton mengeras.

Beton yang sudah mengeras pada konstruksi akan menjadi limbah yang hanya dapat dibuang sebagai tempat pembuangan akhir ketika sudah tidak digunakan lagi. Limbah tersebut dapat mengurangi kesuburan tanah dan dapat merusak ekosistem di sekitarnya jika tidak dibuang dengan baik.

Untuk menurunkan akibat tersebut perlu dikerjakan upaya penggunaan kembali limbah tersebut untuk bahan yang ramah lingkungan, yaitu dengan memanfaatkan limbah beton menjadi pengganti agregat kasar berupa batu pecah.

Akan tetapi, beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan hasil kuat tekan yang cenderung menurun. Sehingga diperlukan penelitian ulang dengan bahan *additive* yang bisa membantu menaikkan kuat tekan beton sesuai yang direncanakan, supaya beton bisa digunakan untuk konstruksi gedung, jalan raya, dan pekerjaan teknik sipil lainnya (Mukhasanah, 2019).

Baru-baru ini telah banyak berkembang berbagai tipe *additive* yang sering dipakai pada adukan beton, seperti *water reducer, plasticizer, superplasticizer*. Pada percobaan ini bahan tambah yang coba digunakan adalah *superplasticizer,* dalam kegunaannya untuk menaikan mutu beton. Dengan menggunakan bahan ini, maka akan membantu menaikkan kuat tekan beton sesuai dengan yang diinginkan.

Beton mutu tinggi adalah tipe beton yang umumnya memiliki kekuatan lebih tinggi dari beton biasa. Menurut PDT-04-2004-C tentang tata cara pembuatan dan pelaksanaan beton mutu tinggi, beton mutu tinggi ditentukan berdasarkan benda uji berupa silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Oleh karena itu, untuk mencapai kuat tekan beton yang tinggi pada percobaan ini digunakan bahan *additive* berupa *superplasticizer*. Jenis *water reducer* yang akan digunakan adalah *sikacim additive water reducer*. Pembahasan di atas merupakan dasar gagasan untuk mempelajari pengaruh penggunaan limbah bongkahan beton sebagai agregat kasar terhadap perilaku beton mutu tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah beton sebagai agregat kasar terhadap kuat tekan beton mutu tinggi?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah beton sebagai agregat kasar terhadap kuat geser beton mutu tinggi?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah beton sebagai agregat kasar terhadap kuat tarik beton mutu tinggi?
4. Berapakah kadar agregat subtitusi yang paling optimum untuk menghasilkan nilai kuat tekan beton mutu tinggi diantara proporsi yang direncanakan?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk menentukan pengaruh penggunaan limbah beton sebagai agregat kasar terhadap kuat tekan beton mutu tinggi.
2. Untuk menentukan pengaruh penggunaan limbah beton sebagai agregat kasar terhadap kuat geser beton mutu tinggi.
3. Untuk menentukan pengaruh penggunaan limbah beton sebagai agregat kasar terhadap kuat tarik beton mutu tinggi.
4. Untuk menentukan berapa kadar agregat subtitusi yang paling optimum untuk menghasilkan nilai kuat tekan beton mutu tinggi diantara proporsi yang direncanakan.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan limbah beton dari bongkaran konstruksi bangunan dapat dimanfaatkan sebagai bahan agregat pengganti sebagian batuan alam atau kerikil yang dimanfaatkan untuk pembuatan beton.

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian ini dikerjakan di Laboratorium Fakultas Teknik Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram.
2. Perencanaan *mix design* beton berdasarkan SNI 7656-2012 (Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal).
3. Kuat tekan rencana (*f'c*) 50 MPa.
4. Variasi limbah beton yang di gunakan yaitu 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dari berat total kerikil.
5. Benda uji yang digunakan yaitu:
   a. Berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. jumlah sampel sebanyak 30 buah, yang terdiri dari 3 sampel untuk tiap variasi campuran.
   b. *double*-L dengan Panjang 200 mm, lebar 75 mm, dan tinggi 300 mm. jumlah sampel sebanyak 15 buah, yang terdiri dari 3 sampel untuk tiap variasi campuran.

6. Pengujian yang akan digunakan adalah uji kuat tarik belah, uji kuat tekan, dan uji kuat geser. Untuk semua pengujiaan, perawatan beton dilakukan selama 28 hari.
7. Bahan campuran yang digunakan:
    a. Semen yang akan digunakan adalah semen merk Tiga Roda.
    b. Air yang akan digunakan adalah air yang berasal dari Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram.
    c. Kerkil dengan butir terbesar 19 mm.
    d. Pasir alam yang berasal dari desa korleko Lombok Timur.
    e. Limbah bongkahan beton yang diambil dari limbah beton masjid desa mantang Lombok Tengah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Mukhasanah (2019) melakukan studi tentang penggunaan limbah beton sebagai agregat kasar untuk menggantikan beton massa tinggi *fly ash* (HVFAC). Pada percobaan yang dilakukan, kuat tekan beton mutu tinggi yang direncanakan adalah 40 MPa, dan proporsi limbah beton yang digunakan adalah 0%, 25%, 50%, 75%, 100%. 50% *fly ash* untuk agregat halus dan gunakan 0,4% *water reducer* menurut berat semen. Ukuran sampel yang digunakan masing-masing adalah 150 mm dan 300 mm, 100 mm dan 200 mm untuk diameter dan tinggi. Hasil percobaan ini membuktikan bahwa semakin tinggi jumlah limbah beton yang digunakan maka nilai kuat tekan beton semakin rendah. Berdasarkan hasil percobaan umur 28 hari, nilai kuat tekan maksimum beton muncul pada proporsi campuran agregat kasar daur ulang, nilai terbaik adalah proporsi limbah 25%, nilai kuat tekan mengalami peningkatan sebesar 44 MPa.

Bardosono dan Herbudiman (2010) melakukan pengujian tentang pemakaian beton daur ulang sebagai agregat kasar pada beton mutu tinggi dengan kuat tekan rencana 50 MPa. Variasi fraksi limbah beton yang digunakan adalah 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Pada penggantian fraksi limbah beton 100% dilakukan perubahan sebagai berikut: 1) Penambahan 0%, 2% dan 4% *superplasticizer conplast* SP430 dan 0,5%, 0,75% dan 1% berat *superplasticizer Structural* 335 *cement* ; 2) Kemerosotan desain 0-1 cm, 1-3cm, 3-6cm, 6-18cm; 3) Zona gradasi agregat kasar 1, 2 dan 3. Pengujian kuat tekan dilakukan pada semua variasi beton pada umur 28 hari. Dosis optimum zat pereduksi air *conplast* SP430 adalah 4%, dan kuat tekan 37,04 MPa, dan dosis optimum zat pereduksi air *Structuro* 335 adalah 1%, dan kuat tekan 45,65 MPa. Nilai slump desain optimum yang digunakan adalah 30-60 mm dan kuat tekan rata-rata 48,05 MPa.

Ismail dkk. (2017) menyelidiki efek dari beton daur ulang dan penambahan *fly ash* pada kuat tekan dan kuat lentur beton struktural ramah lingkungan. Perubahan bahan pengganti agregat kasar adalah 25%, 50%, 75% dan 100% Sampel uji tekan silinder beton dan benda uji kuat lentur beton adalah prisma. Kadar abu terbang yang digunakan adalah 10%. Peningkatan kuat tekan terbaik terjadi pada 50% kadar sisa tiang dan peningkatan kuat lentur terbaik pada kadar 75% tiang. Dengan demikian, bahan daur ulang memiliki potensi sebagai bahan yang dapat digunakan sebagai campuran beton struktural.

Iduwin dkk. (2020) menyelidiki pengaruh pemanfaatan bahan limbah pada sifat mekanik beton bebas pasir. Berbagai bahan daur ulang 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% digunakan dalam penelitian ini. Pemeriksaan yang dilakukan adalah uji kuat tekan untuk mengetahui kuat tekan beton tanpa pasir pada umur 7, 14 dan 28 hari. Rasio semen terhadap agregat yang digunakan adalah 1:4 dan FAS adalah 0,5. Pengujian menggunakan cetakan berbentuk silinder berukuran 15 x 30 cm dengan jumlah subjek uji sebanyak 45 orang. Hasil pengujian menunjukkan kuat tekan beton bebas pasir tertinggi sebesar 10,47 Mpa pada 0% MDU, dan kuat tekan terendah sebesar 8,39 Mpa pada beton bebas pasir 100% MDU. Daya serap air pada beton bebas pasir menunjukkan bahwa semakin banyak bahan daur ulang yang digunakan maka nilai penyerapan airnya semakin kecil.

Utra dkk. (2019) melakukan pengujian akan pengaruh substitusi bahan buatan (limbah beton) terhadap kuat tekan beton biasa. Pengujian ini memakai limbah beton dan skala boiler. Limbah beton yang digunakan lolos ayakan 19,1 mm, sedangkan cangkang ketel yang dipakai adalah 15% berat semen dan lolos ayakan No. 200. Variasi beton daur ulang sebagai fungsi berat agregat kasar (agregat kasar), 25%, 50%, 75%, 100%, dan beton yang dibuat dengan limbah beton 0% berfungsi sebagai beton kontrol. Massa rencana beton adalah 30 MPa pada umur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan kuat tekan sebesar 26.799 MPa diperoleh dengan menggunakan persentase berat optimal 50% limbah beton dalam campuran beton.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Beton

Beton adalah bagian komponen struktur yang sering dipakai pada gedung, jembatan, jalan, dll. Beton ini merupakan suatu bahan yang tersusun dari pasir, kerikil, semen dan air. Campuran akan mengeras seperti batu, dan pemadatan ini terjadi karena akibat kimia dari semen dan air.

Beton mengeras juga dapat diasumsikan sebagai batu buatan, dan rongga antar butiran besar (agregat kasar) diisi oleh butiran kecil (agregat halus), dan rongga-rongga antara agregat halus diisi oleh semen dan semen, air. Semen juga berperan untuk pengikat atau pengikat selama proses pemadatan, mengikat butir-butir agregat secara kuat sehingga membentuk satu kesatuan yang kokoh. Beton keras yang baik adalah beton yang kuat, tahan lama, tahan air, tahan aus, dan memiliki sedikit pergantian volume. (Tjokrodimuljo, 2007).

Beton mengeras juga dapat dikatakan sebagai batuan buatan, dengan rongga-rongga antara butiran besar (agregat kasar atau batu pecah), diisi oleh butiran kecil (agregat halus atau pasir), dan rongga-rongga antara agregat halus diisi oleh semen dan air. Semen juga berperan sebagai pengikat atau pengikat selama proses pengerasan, menjaga agar butir-butir agregat tetap melekat erat satu sama lain sehingga membentuk satu kesatuan yang kokoh. Beton keras yang baik adalah beton yang kuat, tahan lama, tahan air, tahan aus, dan memiliki sedikit perubahan volume. (Tjokrodimuljo, 2007).

Beton memiliki fungsi penting dalam konstruksi bangunan untuk tempat tinggal, gedung tinggi dan berbagai prasarana lainnya. Beton memiliki beberapa keunggulan, seperti:

1. Beton mudah dibuat dengan memakai bekisting sinkron dengan keinginan struktur gedung, dan memiliki daya tahan suhu yang kuat.
2. Beton mempunyai kuat tekan yang tinggi.
3. Material pokok beton relatif gampang didapat.

4. Beton relatif lepas pemeliharaan dan tahan lama.
5. Beton kuat terhadap aus dan api, serta pemeliharannya relatif murah dan mudah.

Namun, beton juga memiliki kelemahan, seperti:

1. Kualitas final proyek beton sangat diberdampak oleh kualitas beton itu sendiri dan proses penuangan.
2. Beton adalah suatu benda yang memiliki berat jenis yang cukup besar, 2400 kg/m3, dan kuat tariknya sangat kecil, sekitar 9-15% dari kuat tekannya.
3. Beton bersifat rapuh atau tidak ulet, sehingga harus diperhitungkan dengan cermat.

Beton mutu tinggi adalah beton yang kuat tekannya lebih tinggi dari beton biasa. Dengan pesatnya kemajuan teknologi beton, ternyata standar beton mutu tinggi juga berganti seiring dengan perkembangan zaman dan pertambahan tingkat mutu yang dicapai. Pada tahun 1950-an, beton diklasifikasikan memiliki kekuatan tinggi jika memiliki kuat tekan sebesar 30 MPa. Pada 1960-an dan 1970-an, standarnya naik menjadi 40 MPa. Saat ini jika kekuatan tekannya melebihi 50 MPa maka dianggap beton mutu tinggi. (Supatono, 1998)

Menurut Wahyudi, dkk. (1999) Secara umum, beton mutu tinggi dengan f'c > 40 MPa (60.000 psi) memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

1. Muatan semen tinggi
2. Faktor air semen sedikit
3. Gunakan material kualitas yang lebih bagus
4. kadar air sedikit
5. Gunakan bahan *pozzolan*, *fly ash*, *ground granular blast furnace slag*, *silica fume*, dll.

Beton mutu tinggi tersedia untuk aplikasi pracetak dan prategang. Pada gedung bertingkat pengurangan beban mati. Kelemahan beton ini adalah kerapuhan. Beton mutu tinggi ini produksinya membutuhkan distributor untuk mengoptimalisasikan 3 bagian yang berpengaruh terhadap

ketahanan beton: semen, agregat, dan lekatan semen-agregat. Perlu kepedulian pada semua aspek tersebut, seperti penggunaan material, *jobmix*, penuangan dan penanganan.

2.2.2 Material Penyusun Beton

Penyusunan bahan beton ini terbuat dari adukan pasir dan kerikil kemudian ada juga semen, air sebagai pengikatnya. Akan, penelitian ini sebagian agregat kasar menggunakan limbah beton dan menggunakan bahan tambah berupa *superplasticizer*.

2.2.2.1 Semen *Portland*

Kegunaan dari semen ini ialah untuk mengikat agregat supaya menghasilkan beton yang padat dann kompak, juga memiliki kegunaan untuk pengisi rongga antara butiran agregat. Semen ini berfungsi sebagai pengikat jika diberikan air, sehingga dikatakan sebagai pengikat hidrolis. Semen *Portland* ini merupakan salah satu semen yang sudah biasa digunakan dalam pengerjaan beton.

Pembuatan semen *Portland* ini terdiri dari silika, oksida besi, kapur dan aluminium. Diamana oksida bereaksi membentuk suatu produk akibat peleburan. Semen *Portland* ini sangat halus dan sifatnya *adhesive* maupun *kohesif*.

Karena bermacam-macam tipe semen menciptakan panas yang beragam, juga dengan kelanjutan pemebasan panas yang berbeda, maka butuh diketahui untuk apakah semen tersebut digunakan. Ukuran penampang struktur beton ini berpengaruh terhadap pengganaan panas hidrasinya. Semen *portland* memiliki 5 jenis pembagian menurut SII 0031-81, sebagai berikut :

1) Tipe 1

   Untuk bangunan tanpa persyaratan khusus untuk panas dan massa awal. Sangat cocok untuk tanah dan air dengan kandungan sulfat antara 0,0-0,10%, dan dapat digunakan di perumahan, gedung bertingkat, dll.

2) Tipe 2

Untuk struktur gedung dari beton yang membutuhkan keawetan terhadap *sulfat* (pada daerah tanah dan air yang berisi sulfat antara 0,10 – 0,20 %) dan panas *hidrasi* sedang, misalnya gedung didekat laut, gedung yang ada ditanah rawa, irigasi, beton untuk dam-dam dan jembatan.

3) Tipe 3

Untuk struktur gedung yang membutuhkan mutu beton awal banyak pada fase awal setelah proses persatuan terjadi, seperti pada pembuatan jalan, gedung bertingkat, struktur daerah air yang tidak membutuhkan keawetan terhadap *sulfat.*

4) Tipe 4

Ini digunakan untuk casting non-pemanas, casting semprot, dan membutuhkan panas hidrasi rendah saat digunakan. Semen Portland tipe 4 ini menghasilkan panas hidrasi yang rendah dengan persentase maksimum 35% C3S, 7% C3A dan 40% C2S. Tipe 4 tidak lagi diproduksi massal, digantikan oleh Tipe 2 yang dikenal sebagai "semen Portland yang dimodifikasi".

5) Tipe 5

Untuk konstruksi bangunan di tanah/air dengan kandungan sulfat lebih dari 0,20%, ideal untuk instalasi pengolahan air limbah industri, bangunan bawah air, jembatan, terowongan, pelabuhan dan pembangkit listrik tenaga nuklir. Semen tipe 5 ini tahan terhadap serangan *sulfat* dan mengeluarkan panas. Terjadinya *Calcium Sulfoaluminate* dikarenakan reaksi antara C3A dan CaSO4.

2.2.2.2 Agregat

Agregat adalah bahan alamiah atau bikinan yang fungsinya sebagai campuran beton. Dari keseluruhan volume beton, agregat menempati +70%, sehingga mempengaruhi sifat dan nilai beton, sehingga bagian yang penting dalam peroses pengerjaan beton adalah dalam pemilihan penggunaan agregat.

Mengingat agregat merupakan proporsi yang lumayan besar dari volume beton dan sangat berdampak kinerja beton, jadi bahan ini perlu diberikan kepedulian yang lebih cermat dan seksama setiap kali dilakukan adukan beton. Selain itu, agregat dapat mengakibatkan susut perkerasan beton dan juga mengakibatkan koefisien muai panas. Tipe agregat yang dipilih bergantung pada kualitas bahan, ketersediaan di tempat, harga, dan jenis bangunan yang akan digunakan.

Agregat dibagi dua dalam kategori yaitu agregat alam dan agregat buatan. Agregat alam adalah agregat yang berbentuk alami oleh aliran air sungai yang berbentuk bulat dan halus dan ada juga yang terbentuk dari proses degradasi yang bentuknya bersudut dan keras. Sedangkan agregat buatan adalah agregat yang diambil dari hasil samping pabrik semen dan penghancur batu.

Ada banyak yang perlu dipelajari tentang agregat karena sangat penting untuk pekerjaan konstruksi apa pun karena pemahaman yang lebih baik tentang agregat diperlukan untuk menghasilkan konstruksi yang bagus. Menurut Sukirman (2003), agregat adalah butiran seperti batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik butiran alam maupun buatan, yang berupa mineral padat dalam bentuk (pecahan) ukuran kecil maupun besar, sebagai campuran atau bahan pengisi konkret. Menurut Tjokrodimuljo (2007) agregat dikelompokkan menjadi 3, yaitu:

- Batu memiliki standar butir lebih dari 40 mm
- Kerikil memiliki standar butir diantara 5 mm - 40 mm
- Pasir memiliki standar butir diantara 0,15 mm - 5 mm

Agregat yang dipakai dalam penyusunan beton adalah:

1. Agregat Halus

   Agregat halus adalah butiran yang lolos ayakan No.4. Agregat halus yang digunakan dalam beton bisa dalam bentuk pasir alam, produki batu alam, atau pasir buatan dari hasil penghancur batu yang biasa dikenal dengan batu kapur. butiran yang memiliki ukuran kurang dari 1,2 mm disebut pasir halus, yang kurang dari 0,075 mm disebut

lanau, dan yang kurang dari 0,002 mm disebut lempung. Kadungan lumpur dari pasir tidak boleh melebihi 5%, dan tidak terdapat zat yang dapat merusak beton pada agregat tersebut. Fungsi agregat ini adalah pengisi dari rongga kerikil. Pengertian agregat halus menurut beberapa sumber:

- Agregat halus ialah butiran kecil dengan kehalusan 2 – 5 mm.
- Agregat halus ialah butiran kecil memiliki kehalusan maksimal 4,75 mm (SNI 02-6820-2002)
- Agregat halus adalah butiran dengan ukuran yang tidak lebih dari 5 mm, sehingga agregat bisa berupa yang alami ataupun buatan (Nevil, 1997).

a. Modulus Halus

Modulus kehalusan adalah takaran agregat untuk kehalusan atau kekasarannya. Modulus ini diartikan sebagai persen kumulatif dari sisa saringan di atas saringan No. 100 dibagi 100. Nilai modulus halus yang lebih besar menunjukkan butiran agregat yang lebih besar. Modulus kehalusan butir harus bernilai antara 1,5 mm – 3,8mm (SNI 03 – 1750 - 1990). Modulus kehalusan dapat dihitung menggunakan rumus:

$$MHB = \frac{jumlah\ persen\ tertahan}{100} \quad \text{..... (2.1)}$$

dengan:

MHB = Modulus Halus Butir

Jumlah Persen Tertahan = Jumlah persen kumulatif yang tertinnggal di ayakan No.4 - No. 200

b. Syarat Agregat Halus

Syarat agregat halus menurut SNI-03-6821-2002 adalah:

- Butiran ini tajam dan keras
- Butiran ini sifatnya tidak pecah dan hancur jika disebabkan karena cuaca

- Tidak ada lumpur lebih dari 5% terhadap berat kering, jika lebih 5% maka harus dibersihkan

Dalam penelitian yang akan dilakukan agregat wajib memenuhi persyaratan yang berlaku, karena bisa mempengaruhi workability, kekuatan dan durabilitas beton. Pasir dibentuk menjadi mortar bersamaan dengan air dan semen, dan digunakan sebagai pengikat agregat menjadi sesuatu yang kuat dan kokoh. Pasir wajib berada dalam batas gradasi dan persyaratan yang ditentukan untuk agregat halus.

Tabel 2.1 Batasan Susunan Butiran Agregat Halus

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	**Persen Lolos Kumulatif**
9,50	100
4,75	95-100
2,36	80-100
1,18	50-85
0,60	25-60
0,30	5-30
0,15	0-10

Sumber : ASTM C33

2. Agregat Kasar

Agregat kasar memiliki ukuran butir maksimum 5 mm atau butirannya dapat tertahan melalui saringan 4,75 mm (PBI 1971). Agregat kasar beton bisa berupa kerikil atau batu pecah. Agregat kasar berupa butiran yang keras dan permukaan yang kasar. Agregat harus bersih dari lumpur, dan tidak boleh melebihi 1%, dan tidak terdapat zat berbahaya.

Faktor yang perlu perhatian dalam memilih agregat sebagai campuran beton, yaitu:

a. Bentuk agregat

Bentuk agregat berpengaruh terhadap ketajaman dan sperikal. Ketajaman sudut adalah sifat yang tergantung dari sudut dan ujung butir yang relatif. Sedangkan sperikal adalah sifat yang tergantung dari rasio antara luas bidang permukaan butir dan massa butir. Bentuk butiran ini lebih mempengaruhi beton segar daripada beton yang telah keras. Bentuk agregat dapat dibedakan menjadi beberapa, yaitu:

1) Bulat

Agregat pada umumnya berbentuk bulat, permukaannya agak licin karena dipengaruh oleh aliran selama transportasi terbawa arus air. Agregat macam ini berada di sungai atau pantai.

2) Tidak beraturan

Agregat yang berentuk alami tidak beraturan, atau beberapa terjadi karena pergeseran dan mempunyai sisi tepi bulat. Agregat jenis ini berasal dari darat, sungai ataupun dari gunung.

3) Bersudut

Agregat yang tidak beraturan, memiliki sudut tajam dan permukaannya kasar. Agregat ini dari hasil alat mesin pemecah batu.

4) Memanjang

Dikatakan memanjang jika agregat memiliki panjang melebihi kedua sisi dimensi atau panjangnya melebihi dari tiga kali lebarnya.

5) Pipih

Dikatakan pipih jika tebalnya melebihi tebal kedua dimensi lainnya atau tebalnya kurang dari sepertiga lebar. Agregat ini berada di batuan yang berlipat.

6) Panjang dan pipih

Agregat dengan lebar melebihi tebal dan panjangnya melebihi lebar.

b. Tekstur permukaan butir

Tekstur permukaan butir adalah ciri agregat yang permukaannya, tergantung pada ukurannya, kasar atau halus, matt atau glossy. Teksturnya tergantung pada kekerasan, ukuran molekul, tekstur batuan, dan besarnya gaya yang bekerja pada permukaan butir yang menghasilkan permukaan agregat halus.

1) Agregat dengan lapisan mengkilap.
2) Agregat dengan lapisan halus, agregat ini terdapat di batuan yang butiran yang sangat kecil atau sangat halus.
3) Agregat butir pecah pada permukaan batuan menunjukkan butiran bulat yang beragam.
4) Agregat dengan lapisan yang kasar, biasanya berupa pecahan batuan, permukaannya terlihat keras dan butirnya lembut, hingga media kristal tidak dapat terlihat dengan jelas.
5) Agregat dengan lapisan kristal memiliki kristal yang jelas.
6) Agregat memiliki lapisan yang berpori dan berlubang seperti sarang lebah, dan batuan ini memiliki pori-pori dan rongga yang mudah terlihat.

c. Berat jenis

Berat jenis adalah perbandingan massa padat agregat dan massa air dengan volume yang sama di suhu yang sama. Karena agregat umumnya mengandung butiran berpori dalam butir tertutup atau terputus, berat jenis agregat dibagi menjadi dua jenis, kepadatan absolut, jika volume padatan tidak berpori, dan kepadatan semu, jika volume padatan termasuk pori-pori tertutup.

d. Satuan Berat dan Kepadatan

Satuan berat adalah berat total dari satuan volume yang satuannya dalam ton per meter kubik. Jadi, satuan berat dapat dihitung sesuai dengan berat agregat pada tempat tertentu,

sehingga yang digunakan dalam perhitungan adalah volume pori tertutup dan volume pori terbuka.

e. Maksimum ukuran agregat

Ukuran maksimum agregat yang digunakan adalah 1 cm, 2 cm, dan 4 cm.

f. Gradasi agregat

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butir agregat. Jika butir agregat berukuran sama, maka volume pori akan besar. Sebaliknya, jika butirnya berbeda, volume pori menjadi lebih kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori-pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-pori menjadi lebih kecil. Karena agregat yang kecil mengisi pori antara butiran yang besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit. Batasan gradasi agregat kasar dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Batasan Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	**Persentase Berat Butir Lewat Ayakan**
	4,75 mm-19 mm
25	100
19	90-100
9,5	20-55
4,75	0-10
2,36	0-5

Sumber : SNI 7656-2012

Hasil dari penelitian ini akan didapatkan nilai modulus akan menunjukkan bahwa semakin kecil nilai kehalusan yang didapatkan maka semakin kecil juga butiran agregatnya. Modulus halus butir agregat kasar berkisar 5 - 8 (PERMEN PUPR, 2017). Modulus halus butir (MHB) dapat diketahui menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MHB = \frac{jumlah\ persen\ tertahan}{100} \quad \text{..... (2.2)}$$

dengan:

MHB = Modulus Halus Butir

Jumlah Persen Tertahan = Jumlah persen kumulatif yang tertinggal pada ayakan 40 mm-ayakan 5 mm

g. Kadar air agregat

Kadar air agregat ada beberapa jenis, yaitu:

- Kering tungku, pada keadaan ini agregat tidak mengandung air sedikitpun.
- Kering udara, pada keadaan ini agregatnya kering pada lapisannya tetapi mengandung sedikit air di dalamnya.
- Jenuh kering muka, yaitu kondisi dimana agregat mengalami kering pada permukaan tetapi butirannya berisi air yang dapat diserap. Dengan begitu agregat tidak bisa lagi untuk menghisap dan bertambah air jika dipakai dalam campuran beton.
- Basah, kondisi ketika agregat masih berisi banyak air pada dipermukaan maupun ada dalam butiran, sehingga jika digunakan sebagai adukan beton maka akan bertambah air.

Dari berbagai jenis kandungan air pada agregat, yang sering digunakan pada campuran beton adalah keadaan SSD (*Saturated Surface Dry*), karena kondisi air agregat yang hampir sama Ketika agregat dalam beton, sehingga agregat tidak bisa menambah lagi air ataupun mengurangi air, dan kadar air.

h. Kekuatan dan keuletan agregat

Kekuatan beton bergantung pada kekuatan bahan pembuatannya. butir agregat dapat menjadi rendah kekuatannya dikarenakan oleh dua sebab yaitu karena tersusun dari material yang lemah atau tersusun dari butir yang kuat tetapi tidak terikat erat, umumnya kekuatan dan elastisitas agregat bergantung pada

jenis batuan, tekstur dan struktur butir. agregat merupakan komponen terbesar dari beton, kekuatan agregat mempengaruhi kekuatan beton.

2.2.2.3 Air

Air adalah zat terpenting untuk kinerja kimia dan membentuk nat bersama dengan semen. Air juga dipakai untuk melumasi butir dalam agregat untuk kemudahan pemrosesan dan pemadatan. Air pada adukan beton menyebabkan proses hidrasi semen terjadi. Terlalu banyak air dapat mengurangi kekuatan beton. Namun, semakin sedikit air dapat mengakibatkan hidrasi yang tidak merata. Biasanya, air minum yang dipakai sebagai campuran beton. Sifat air yang bagus untuk adukan beton adalah tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa.

a. Jenis-jenis air untuk campuran beton :

1) Air hujan

Pada saat turun ke bumi, air hujan menyerap gas dan udara. Air hujan akan memiliki unsur kimia seperti nitrogen karbondioksida dan oksigen sehingga air hujan tidak bisa dipakai untuk adukan beton.

2) Air permukaan

Air yang termasuk air permukaan adalah air sungai, air danau, air genangan, dan air *reservoir*. Air sungai dan danau dapat digunakan sebagai air adukan beton asalkan tidak terpengaruhi oleh limbah industri. Sedangkan air rawa dan genangan yang mengandung zat-zat alkali tidak dapat digunakan sebagai adukan beton.

3) Air tanah

Air tanah mengandung unsur kimia seperti *kation* dan *anion*. Selain itu juga kadang-kadang terdampar unsur CO2, H2S dan NH3 sehingga air ini tidak dapat digunakan sebagai pencampur beton.

4) Air laut

Air laut yang berisikan garam diatas 3 % tidak bisa digunakan untuk campuran beton. Pada beton pratekan, air laut tidak

diperbolehkan karena akan menyebabkan beton cepat berkarat pada tulangannya.

b. Air yang digunakan harus mematuhi syarat sebagai berikut :
   1) Air tidak boleh kotor.
   2) Tidak ada unsur garam atau asam melebihi 3% yang bisa merusak beton, zat organik dan sebagainya tidak melebih 15 gram / liter.
   3) Tidak ada unsur *klorida* (C1) lebih dari 1 gram/liter.
   4) Tidak ada unsur *sulfat* lebih dari 1 gram / liter.

c. Air yang pada campuran beton dipengaruhi oleh:
   1) Besar butir agregat yang digunakan paling besar, semakin besar agregat yang dipakai maka penggunaan air menurun, begitu juga jumlah mortar yang dipakai lebih berkurang.
   2) Bentuk butir, untuk batu pecah diperlukan air lebih banyak dari pada batu bulat.
   3) Gradasi agregat yang bagus akan membuat penggunaan air menurun untuk kelecakan yang sama.
   4) Kotoran pada agregat yang banyak mengandung silt, tanah liat ataupun lumpur agregat akan lebih banyak membutuhkan air.
   5) Kapasitas agregat halus (dari agregat kasar) jika agregat kasar lebih banyak dari agregat halus maka air yang digunakan lebih sedikit.

2.2.2.4 Limbah Beton

Limbah beton adalah hasil bongkaran struktur gedung dan bahan yang bukan lagi agregat alam murni, melainkan material lain yang digabungkan menjadi pasta berupa semen dan air. Penggunaan limbah padat sebagai pengganti agregat kasar dalam pembuatan beton diharapkan dapat mengurangi penggunaan bahan alam. Limbah padat datang dalam bentuk pemindahan beton dari konstruksi bangunan. Oleh sebab itu, pada pengujian ini akan dilakukan upaya pemanfaatan limbah beton sebagai bahan pengisi adukan beton untuk mengetahui apakah dapat berpengaruh positif terhadap kuat tekan beton.

Pada pengujian yang dikerjakan oleh (Dhir,1998 dan Hansen, 1992) diperoleh:

1) Bentuk, tekstur dan ukuran butir agregat daur ulang sama dengan agregat alam yangakan digunakan.
2) Untuk agregat kasar kandungan *mortar* dan pasta semen yang sudah keras pada agregat daur ulang yang boleh digunakan antara 20 – 35 % dari agregat kasar dan untuk agregat halus antara 45 – 60% dari agregat halus. Beton yang mengandung *mortar* dan pasta semen akan mengakibatkan kekerasan pada beton menurun dan pasta semen yang mengeras di daerah agregat kasar juga mengakibatkan permukaan agregat licin. Hal tersebut menunjukan sifat yang berbeda dengan beton yang menggunakan agregat alam dan otomatis akan mempengaruhi kekuatan beton.
3) Berat jenis agregat alam memiliki besar lebih dari pada agregat daur ulang, Dimana beraj jenis daur ulang antara 2100 – 2500 kg/m3 (Hansen, 1992) sedangkan agregat alam memiliki berat jenis antara 2400 – 3000 kg/m3 (Nevile, 1996).
4) Penyerapan air pada agregat daur ulang sekitar 3 – 10 % (Hansen, 1992) sedangkan penyerapan air pada agregat alam sekitar 0.2% - 4.5% (Neville, 1996).

2.2.2.5 *Superplasticizer Sikacim Concrete*

Superplasticizer adalah bahan tambahan kimia yang digunakan untuk mengurangi konsumsi air, memungkinkan untuk mendapatkan mortar dengan nilai koefisien air-semen yang lebih rendah pada nilai viskositas mortar yang sama, sehingga meningkatkan kuat tekan beton (ASTM C494 dan British Standard 5075). Lain halnya dalam penggunaan untuk beton mutu tinggi secara garis besar sangat berpengaruh dengan pengurangan jumlah air dalam campuran beton. Pengurangan ini tergantung pada kandungan air yang digunakan, dosis serta tipe dari *superplasticizer* yang dipakai (Parrot, 1998).

Superplasticizer yang digunakan adalah *sikacim concrete additive. Sikacim concrete additive* adalah jenis bahan tambah atau sebagai adukan beton yang fungsinya untuk mempercepat dalam pengerasan beton. *Sikacim concrete* memiliki kegunaan sebagai berikut:

- Pengerasan beton lebih cepat dengan mengurangi air sampai 15%
- Peningkatan daya tahan terhadap karbonasi dan mengurangi keropos
- Mempermudah dalam pengecoran

2.2.3 Faktor Air Semen

Faktor air semen (*fas*) adalah hasil dari perbandingan antara berat air dan berat semen dalam pengerjaan beton. Hubungan antara berat air dan berat semen yang digunakan dapat dirumuskan sebagai Persamaan 2.3:

$$FAS = \frac{Berat\ Air}{Berat\ Semen} \quad \text{.....} \quad (2.3)$$

Faktor air semen dipakai untuk mengetahui berapa besar semen yang akan digunakan. Nilai yang banyak akan membutuhkan semen lebih sedikit dan nilai fas yang kecil akan menggunakan semen lebih banyak.

2.2.4 Pengujian *Workability* (*Slump*)

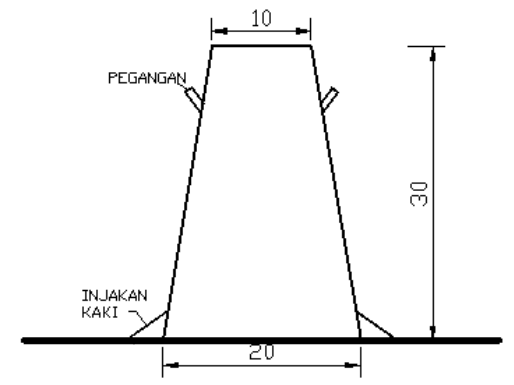
Uji *slump* adalah pengujian empiris atau suatu cara yang dipakai pada adukan beton segar untuk mengetahui kekakuan atau konsistensi dari beton tersebut. Pengujian *slump* ini dapat mengetahui dalam campuran beton segar tersebut terdapat kurang, lebih atau cukup air yang digunakan pada campuran.

Nilai slump tergantung pada seberapa besar penurunan campuran beton setelah alat slump dikeluarkan. Jika nilai slump yang diperoleh lebih besar dari nilai slump yang direncanakan maka nilai workability campuran tipis akan lebih tinggi, sedangkan jika nilai slump lebih kecil dari nilai slump yang direncanakan maka nilai workability campuran kental akan lebih rendah. Slump adalah ukuran kekentalan campuran beton dalam mm dan ditentukan dengan menggunakan alat kerucut Abrams (SNI 03-1972-1990, Cara Uji Slump pada beton semen Portland). Workability adalah sifat fisik campuran beton yang menentukan jumlah kerja mekanik, atau jumlah energi

yang dibutuhkan untuk menghasilkan beton padat dan monolitik tanpa segregasi.

Slump beton dengan nilai dibawah 1,5 cm akan tidak memiliki plastisitas yang memadai, dan beton dengan nilai slump diatas 23 cm akan tidak mempunyai kohesi yang memadai untuk percobaan ini. Peercobaan slump ini merujukan pada SNI 1972-2008.

Pada pengujian ini alat yang akan dipakai berupa corong baja yang berwujud konus berlubang pada kedua ujungnya, atau biasa dinamakan kerucut *Abrams*. Ukuran kerucut yang bawah memiliki diameter 20 cm, yang atas memiliki diameter 10 cm, dan tingginya 30 cm.



Gambar 2.1 Bentu kerucut *Abrams*

2.2.5 Pemeliharaan Beton

Pemeliharaan beton adalah langkah untuk menjaga agar lapisan beton selalu lembab, dari mulai keringnya beton setelah pembuatan sampai dengan proses hidrasi cukup (sekitar 28 hari). Kelembaban pada beton itu wajjib dijaga supaya air di yang dikandung beton tidak keluar. Hal ini untuk memastikan proses hidrasi semen berjalan dengan bagus. Jika hal ini tidak dilakukan, karena panasnya udara maka akan terjadi proses penguapan air pada permukaan beton segar, sehingga air dalam beton segar akan mengalir keluar, dan beton segar akan kekurangan hidrasi, mengakibatkan retakan pada permukaan beton.

Perawatan beton terjadi setelah beton mencapai setting akhir yang berarti beton telah mengeras. Perawatan ini dilakukan agar tidak

mengganggu proses hidrasi selanjutnya. Jika ini terjadi, beton akan retak karena hilangnya kelembaban dengan cepat. Waktu perawatan minimal 7 hari atau 3 hari untuk beton bermutu tinggi, dan harus disimpan dalam kondisi basah.

Perlakuan ini tidak hanya untuk mendapatkan kuat tekan beton yang tinggi, tetapi juga untuk meningkatkan durabilitas, ketahanan air, ketahanan aus dan stabilitas dimensi struktur beton.

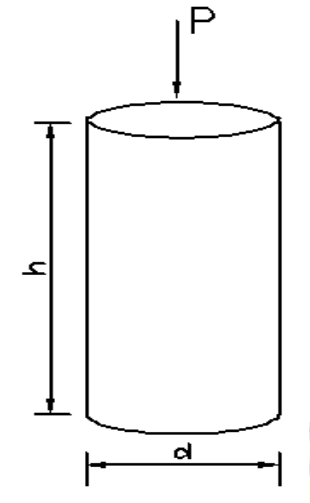
Perawatan beton dapat dilakukan dengan bebagai cara yaitu (Mulyono, 2004):

1. Tinggalkan beton di tempat yang lembab
2. Tinggalkan beton di kobakan air
3. Membiarkan beton berada di air
4. Tutup beton dengan air
5. Tutup beton dengan kantong basah
6. Terus tuangi air pada beton
7. Menyirami atau percikan beton

2.2.6 Kuat Tekan Beton

SNI 03-1974-1990 berpendapat bahwa kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang mematahkan sampel beton di bawah tekanan tertentu yang ditimbulkan oleh tekan.

Nilai pengujian diperoleh dengan menguji silinder beton (diameter 15 cm, tinggi 30 cm) yang dibebani dan diberi tekanan untuk dihancurkan. Sedangkan SNI 1974-2011 berpendapat bahwa rumus yang dipakai menurunkan nilai kuat tekan beton dari hasil pengujian mesin uji adalah sebagai berikut.



Gambar 2.2 Pengujian Kuat Tekan

Rumus untuk mendapatkan kuat tekan:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.4)$$

dengan :

$f'c$ = kuat tekan beton (MPa)

P = beban maksimum (N)

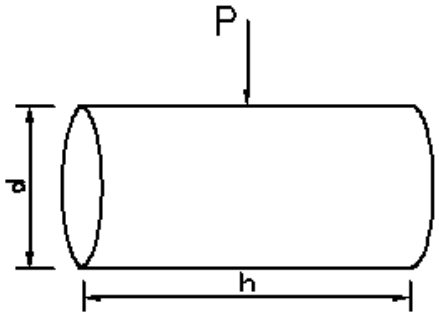
A = luas penampang benda uji (mm^2)

2.2.7 Kuat Tarik Belah

Kartini (2007) berpendapat bahwa kuat tarik beton merupakan komponen penting dari ketahanan terhadap celah disebabkan berubahnya kadar air, temperatur dan beban. Kuat tarik beton sangat berpengaruh terhadap gaya ikat pasta semen dan agregat kasar. Karakter kuat tarik dipengaruhi oleh mutu beton.

Kuat tarik belah beton adalah nilai kuat tarik tidak langsung suatu benda uji beton silinder yang diperoleh dengan pembebanan benda uji sejajar dengan bagian atas meja mesin uji (SNI 03-2491-2002).

Metode pengujian kuat tarik belah beton secara sketsa ditunjukkan pada **Gambar 2.2.**



Gambar 2.3 Pengujian Kuat Tarik Belah

Penentuan pengujian ini dapat ditentukan dengan menggunakan alat uji tarik dan benda uji berbentuk silinder 150 mm x 300 mm dan prosedur ASTM C 496 – 94, yang dapat dihitung sebagai:

$$ft = \frac{2P}{\pi D x h} \quad \text{..... (2.5)}$$

dengan :

ft = kuat tarik belah (MPa)

P = beban maksimum (N)

D = diameter benda uji silinder (mm)

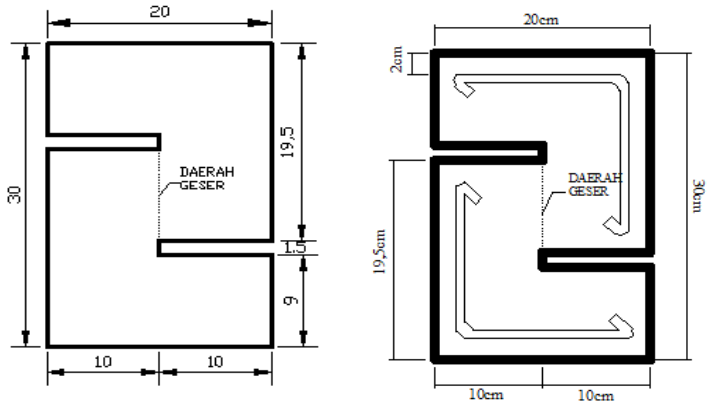
h = tinggi benda uji silinder (mm)

2.2.8 Kuat Geser Beton

Kuat geser beton adalah salah satu karakter beton yang diperkeras. Retak dapat terjadi jika gaya kuat geser melebihi nilai maksimum yang bisa ditahan beton. Tegangan pada kuat geser ini dibuat dengan gesekan satu butir dan butir lainnya.

Tegangan geser ini disebut tegangan geser karena gaya geser langsung. Dibandingkan dengan kekuatan mekanik lainnya, kekuatan geser sulit ditentukan secara eksperimental karena sulit untuk mengisolasi geser dari kekuatan lain. Berbagai studi eksperimental telah menunjukkan kekuatan geser mulai dari 20% hingga 85% dibandingkan dengan kekuatan tekan (Nawy, 1998).

Lukito, (2011) melakukan penelitian kuat geser dengan menggunakan sampel Geser Penampang L sebagai berikut :



Gambar 2.4 Spesifikasi dan Benda Uji *Double-L*

Dimensi sampel geser L ganda adalah 30 cm x 20 cm x 7,5 cm. Area yangdianggap memiliki retakan. Untuk memastikan retakan muncul dalam area 9 cm x 7,5 cm, perkuat penampang melintang dengan tulangan.

Kolom yang digunakan adalah kolom SNI biasa diameter 8mm. 20 mm untuk selimut beton sehingga Agregat dapat terdistribusi secara merata. Kuat geser dapat dihitung dengan Persamaan 2.6:

$$fs = \frac{P}{bh} \quad \text{..... (2.6)}$$

dengan :

fs = kuat geser (MPa)

P = beban maksimum (N)

b = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen dari Laboratorium Program Penelitian Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram. Subyek uji yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini adalah beton mutu tinggi yang telah direndam selama 28 hari dengan agregat kasar bervariasi dari 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% berat kerikil dalam campuran beton. Pada perencanaan awal, massa beton yang digunakan adalah 50 MPa, dan benda uji adalah silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, Double-L dengan dimensi 30 cm x 20 cm x 7,5 cm, diperlakukan dengan cara perendaman sampai umur uji 28 hari.

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah Laboratorium Program Penelitian Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram, Jalan KH. Ahmed Dharam, Desa Pagesangan, Kecamatan Mataram, Kota Mataram, Provinsi Nusa Tenggara Barat.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Peralatan

Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram terdapat berbagai peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yang tersedia di sana, antara lain:

1. Ayakan lengkap
2. Oven
3. Piknometer
4. Kerucut terpancung
5. Cawan
6. Sendok
7. Timbangan
8. Kerucut Abrams
9. Batang penusuk
10. Alat *capping* silinder beton
11. Cetakan beton silinder dengan ukuran (15 cm x 30 cm)

12. Cetakan beton *double*-L (30 cm x 20 cm x 7,5 cm)
13. Penggaris
14. Kuas
15. Wadah adukan
16. CTM (*Compression Testing Machine*)

3.2.2 Bahan

1. Semen Portland

   Semen yang digunakan pada pengujian ini adalah semen Portland tipe 1 yaitu semen Portland untuk penggunaan umum tanpa persyaratan khusus, dengan merek semen tiga roda.

2. Agregat Halus (pasir)

   Agregat halus yang digunakan pada pengujian ini adalah pasir yang berasal dari korleko lombok Timur.

3. Agregat Kasar

   Agregat kasar yang digunakan pada pengujian ini adalah batu pecah yang berasal dari korleko Lombok Timur.

4. Limbah Bongkahan Beton

   Limbah beton ini akan diambil dari bongkahan-bongkahan pada proyek yang akan melakukan pembongkaran yang berlokasi di Desa Mantang Kecamatan Batu Keliang Kabupaten Lombok Tengah NTB

5. Air

   Air yang digunakan untuk campuran beton pada penelitian ini berasal dari Laboratorium Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram.

6. Superplasticizer

   Superplasticizer yang digunakan adalah *superplasticizer sikacim concrete additive.*

7. Belerang

   Menurut SNI 6369-2008 belerang digunakan untuk bahan pembuat *capping*. Untuk kuat tekan beton kurang dari 35 Mpa maka *capping* harus dibiarkan mengeras selama 2 jam sebelum pengujian beton dan

untuk kuat tekan beton lebih dari 35 Mpa maka *capping* dibiarkan mengeras 16 jam sebelum pengujian.

8. Oli

Dalam penelitian ini, oli digunakan sebagai bahan pendukung penelitian seperti belerang. Berdasarkan SNI 6369-2008 tentang pembuatan *capping* untuk benda uji silinder, oli digunakan sebagai pelumas pelat *capping* agar benda uji mudah untuk dilepas. Selain itu oli juga digunakan sebagai pelumas cetakan beton.

3.3 Kebutuhan Benda Uji

Dalam penelitian ini terdapat 5 (lima) macam benda uji dengan variasi campuran agregat kasar yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari berat agregat kasar (kerikil).

Kode dan jumlah perkiraan benda uji untuk 5 (lima) macam benda uji dengan variasi campuran agregat kasar dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Kode dan Jumlah Perkiraan Benda Uji

No	Jenis Pengujian	Variasi Campuran					Jumlah Benda Uji
		0%	25%	50%	75%	100%	
1.	Kuat Tekan Beton	3	3	3	3	3	15
2.	Kuat Tarik Belah	3	3	3	3	3	15
3.	Kuat Geser Beton	3	3	3	3	3	15
Total							45

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Tahap Persiapan

Pada tahapan ini yaitu mengumpulkan bahan yang diperlukan, yaitu semen, pasir, kerikil, limbah beton dan air bersih.

3.4.2 Tahap Pengujian Bahan

Jenis bahan yang akan diuji untuk keperluan penelitian ini yaitu pasir, kerikil dan bongkahan beton. Pemeriksaan agregat ini dilakukan untuk

mengetahui kondisi jenuh kering muka atau SSD (*Saturated Surface Dry*), berat satuan, berat jenis, kadar air dan gradasi agregat.

1. Pengujian Berat Satuan Agregat

   Tujuannya untuk mengetahui berat satuan agregat lepas dan padat, yang berfungsi sebagai konversi satuan berat ke satuan volume atau sebaliknya. Berat satuan agregat yang diuji yaitu :

a. Berat satuan agregat lepas

   Langkah-langkah pengujian

   - Bejana besi ditimbang terlebih dahulu, lalu catat berat bejana besi
   - Masukkan pasir kedalam bejana dan ratakan
   - Timbang bejana berisi pasir kemudian dicatat beratnya

b. Berat satuan agregat padat

   Langkah-langkah pengujian

   - Bejana besi ditimbang terlebih dahulu, lalu catat berat bejana besi
   - Masukkan pasir 1/3 bagian bejana tersebut, lalu ditumbuk sebanyak 25 kali
   - Tambahkan pasir hingga mencapai 2/3 tinggi bejana dan tumbuk 25 kali secara merata
   - Kemudian isilah bejana dengan pasir sampai penuh dan tumbuh Kembali sebanyak 25 kali secara merata, lalu permukaan bejana diratakan
   - Timbang bejana berisi pair lalu catat beratnya

2. Analisis Saringan Agregat

   Tujuan pengujian ini adalah untuk menganalisa distribusi ukuran butir (gradasi) dengan alat ayakan, sehingga akan diperoleh nilai modulus halus butir (MHB). Analisis saringan agregat yang diuji yaitu :

a. Analisis saringan agregat halus

   Langkah-langkah pengujian

   - Mula-mula benda uji hasil kering oven ditimbang sebanyak 500 gram.

- Kemudian benda uji dimasukkan ke dalam saringan yang sudah disusun dari yang terbesar sampai yang terkecil
- Taruh saringan yang sudah diisi benda uji diatas mesin penggetar saringan dan guncangkan dengan mesin tersebut selama ± 15 menit
- Timbang dan hitunglah persentase berat benda uji yang tertahan pada masing-masing saringan terhadap berat total benda uji

b. Analisis saringan agregat kasar

Langkah-langkah pengujian

- Mula-mula benda uji hasil kering oven ditimbang sebanyak 5000 gram
- Kemudian benda uji dimasukkan ke dalam saringan yang sudah disusun dari yang terbesar sampai yang terkecil
- Taruh saringan yang sudah diisi benda uji diatas mesin penggetar saringan dan guncangkan dengan mesin tersebut selama ± 15 menit
- Timbang dan hitunglah persentase berat benda uji yang tertahan pada masing-masing saringan terhadap berat total benda uji

3. Pengujian Berat Jenis Agregat

Tujuan pemeriksaan ini untuk memperoleh berat jenis, berat jenuh kering muka dan penyerapan air. Pengujian berat jenis agregat yang diuji yaitu:

a. Pemeriksaan berat jenis agregat halus

Langkah-langkah pengujian

- Sediakan pasir secukupnya
- Rendam pasir tersebut selama 24 jam
- Setelah direndam, pasir didinginkan hingga mencapai kondisi kering permukaan (SSD)
- Untuk menentukan pasir kering dalam keadaan SSD, pasir diuji menggunakan kerucut terpancung. Masukkan pasir ke dalam kerucut terpancung sebanyak 3 lapis pasir, kemudian tumbuk sebanyak 25 kali (lapisan pertama 8 kali, lapisan kedua 8 kali dan lapisan terakhir 9 kali) kemudian ratakan. Setelah kerucut terisi,

diamkan selama 30 detik kemudian kerucut diangkat secara perlahan, apabila pasir runtuh dalam tepi berarti pasir dalam keadaan SSD.

- Sediakan pasir SSD sebanyak 500 gram, masukkan ke dalam piknometer kemudian masukkan air sampai tanda batas piknometer, lalu diguncang sampai mengeluarkan buih
- Timbang berat piknometer berisi pasir dan air kemudian dicatat
- Keluarkan pasir yang ada di piknometer kemudian di oven selama 24 jam dengan suhu (110 $\pm$ 5) kemudian catat hasil setelah dioven
- Timbang berat piknometer yang berisi air sampai tanda batas piknometer kemudian catat beratnya

b. Pemeriksaan berat jenis agregat kasar

Langkah-langkah pengujian

- Kerikil diayak terlebih dahulu kemudian ambil yang lolos saringan 19,1 mm dan yang tertahan saringan 4,75 mm
- Rendam kerikil tersebut kedalam ember selama 24 jam
- Kerikil hasil rendaman tersebut dikeringkan hingga dapat kondisi kering permukaan (SSD) dengan menggunakan kain lap
- Siapkan kerikil sebanyak 500 gram untuk tiap sampel
- Masukkan kerikil yang telah mencapai kondisi SSD kedalam keranjang berisi air, kemudian catat berat kerikil di dalam air
- Ulangi prosedur pada sampel berikutnya

4. Pemeriksaan Kadar Air Agregat

Tujuan pemeriksaan ini untuk memperoleh berat jenis, berat jenuh kering muka dan penyerapan air. Pengujian kadar air agregat yang diuji yaitu:

a. Pemeriksaan kadar air agregat halus

Langkah-langkah pengujian

- Siapkan pasir dalam keadaan SSD sebanyak 500 gram
- Masukkan kedalam oven selama 24 jam dengan suhu 110 $\pm$ 5

- Setelah 24 jam dioven, keluarkan pasir dan diamkan selama 4 jam untuk pencapai suhu ruang
- Timbang dan catat beratnya

b. Pemeriksaan kadar air agregat kasar

Langkah-langkah pengujian

- Siapkan kerikil dalam keadaan SSD sebanyak 500 gram
- Masukkan kedalam oven selama 24 jam dengan suhu 110 ± 5
- Setelah 24 jam dioven, keluarkan pasir dan diamkan selama 4 jam untuk pencapai suhu ruang
- Timbang dan catat beratnya

3.4.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton dimaksudkan untuk mengetahui komposisi atau proporsi bahan-bahan penyusun beton. Proporsi bahan-bahan penyusun beton ini ditentukan melalui sebuah perancangan beton (*mix design*). Pada perencanaan *mix design* ini akan diuji beton mutu tinggi yang akan mengacu pada SNI 03-7656-2012, Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal.

3.4.4 Pengujian *Workability* (*Slump*)

Pengujian *workability* menggunakan kerucut Abrams, langkah-langkah pengujian dengan kerucut *Abrams* adalah sebagai berikut:

1. Campuran beton tersebut sesegera mungkin dimasukkan ke dalam kerucut secara bertahap, sebanyak 3 lapisan dengan ketinggian yang sama. Setiap lapis dipadatkan dengan cara ditusuk dengan menjatuhkan secara bebas tongkat baja berdiameter 16 mm, panjang 60 cm. Dilakukan sebanyak 25 kali untuk tiap lapis.
2. Meratakan adukan pada bidang atas kerucut *Abrams* dan didiamkan selama 30 detik.
3. Mengangkat kerucut *Abrams* secara perlahan dengan arah vertikal ke atas, diusahakan jangan sampai terjadi singgungan terhadap campuran beton.

4. Pengukuran slump dilakukan dengan membalikkan posisi kerucut *Abrams* di sebelah adukan. Kemudian dilakukan pengukuran ketinggian penurunan dihitung terhadap bagian atas kerucut *Abrams*. Dilakukan tiga kali pengukuran dengan mistar pengukur atau meteran, kemudian hasilnya dirata-rata.
5. Nilai rata-rata menunjukkan nilai *slump* dari campuran beton.

3.4.5 Pembuatan Benda Uji Silinder

Pada penelitian ini digunakan benda uji berupa silinder untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah (diameter 15 cm dan tinggi 30 cm). Langkah-langkah pembuatan benda uji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan cetakan silinder yang telah diolesi dengan oli.
2. Setelah itu beton segar dimasukkan pada cetakan silinder.
3. Pengisian campuran beton segar pada silinder dilakukan sebanyak 3 lapis sama, tiap lapis dilakukan model pemadatan menggunakan tongkat penusuk. Masing-masing lapis ditumbuk sebanyak 25 kali dengan alat penumbuk.
4. Kemudian diketuk-ketuk dengan palu karet pada bagian luar cetakan dengan tujuan untuk menghilangkan gelembung-gelembung udara yang ada dalam cetakan.
5. Meratakan bagian samping dengan cetok , agar rata dan padat.
6. Setelah penuh, meratakan dan memadatkan bagian atas cetakan dengan cetok, dengan jalan agak ditekan kebawah.
7. Memberi label pada cetakan untuk mengetahui spesifikasi benda uji.

3.4.6 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pelaksanaan pengujian kuat tekan dan kuat geser dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Pengujian dilakukan pada benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Maksud dari penelitian ini adalah untuk memperoleh nilai kuat tekan dan beton dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine*. Langkah-langkah pengujian kuat tekan beton (SNI 03-1974-2011) adalah sebagai berikut:

1. Silinder beton diangkat dari rendaman, kemudian didinginkan atau di lap hingga kering permukaan.
2. Menimbang dan mencatat berat sampel beton.
3. Meratakan permukaaan benda uji dengan menggunakan belerang cair yang sudah dipanaskan.
4. Pengujian kuat tekan dengan menggunakan alat (*Compression Testing Machine*).
5. Meletakkan sampel beton ke dalam alat penguji, lalu menghidupkan mesin dan secara perlahan alat menekan sampel beton.
6. Mencatat hasil kuat tekan beton untuk tiap sampelnya.

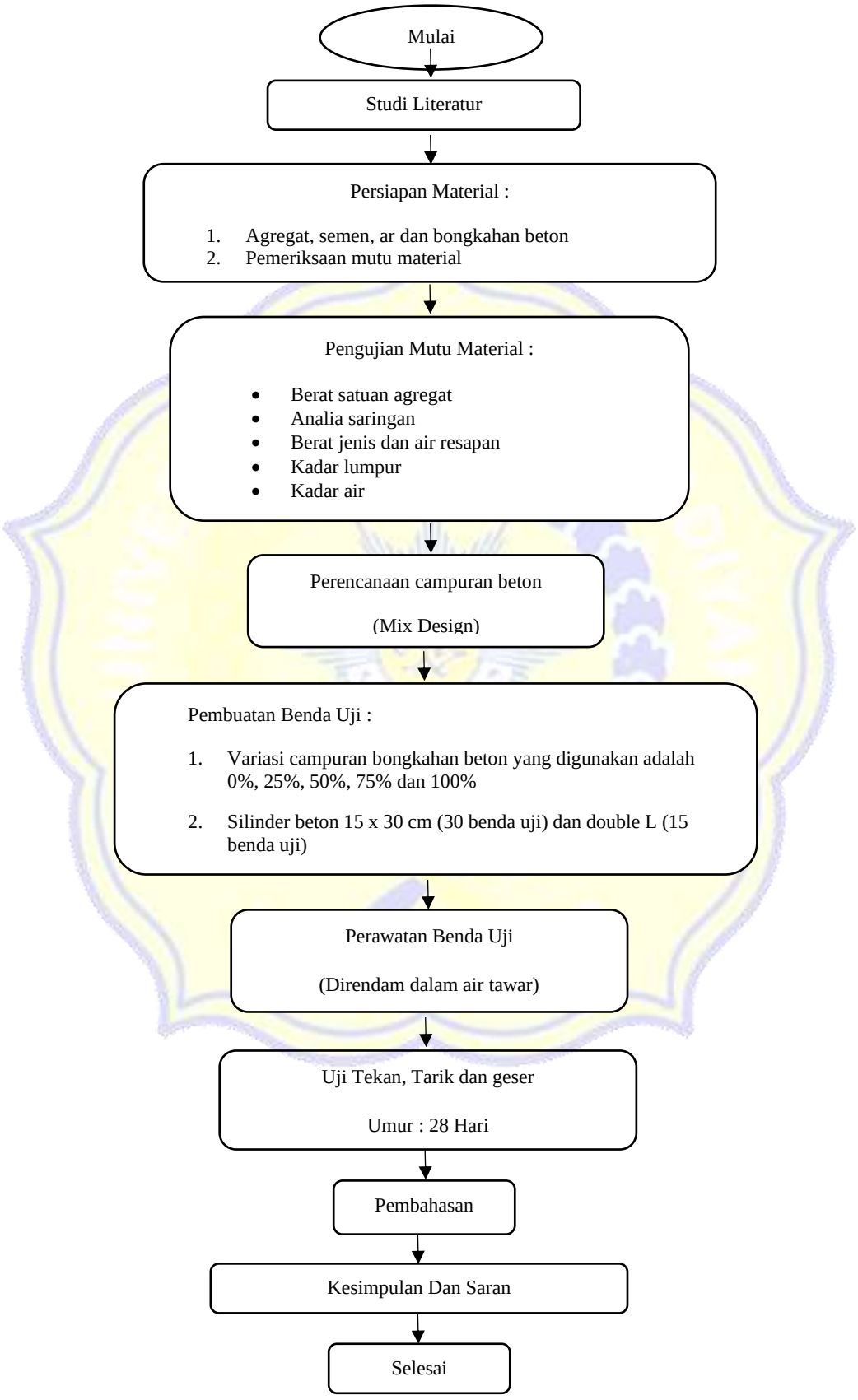
3.4.7 Pengujian Kuat Tarik Belah

Pengujian dilaksanakan dengan maksud untuk mengetahui kuat tarik beton pada umur 28 hari. Pada pengujian ini digunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, jumlah benda uji untuk pengujian ini sebanyak 3 buah tiap variasi. Langkah-langkah pengujian kuat tarik ((SNI 03-2491-2002) adalah:

1. Silinder beton diangkat dari rendaman, kemudian dianginkan atau dilap hingga kering permukaan.
2. Menimbang dan mencatat berat sampel beton.
3. Sebelum dilakukan pengujian terlebih dahulu benda uji di beri tanda.
4. Meletakkan benda uji di atas alas pembebanan mesin uji (*Compression Testing Machine*) dengan berpedoman pada tanda garis tengah pada kedua ujung.
5. Pembebanan diberikan secara berangsur-angsur dengan pembebanan konstan yang berkisar antara 0.7 hingga 1.4 MPa/menit sampai benda uji hancur, kecepatan pembebanan untuk benda uji berbentuk silinder dengan ukuran panjang 30cm dan diameter 15cm berkisar antara 50 – 100 Kn/menit.
6. Mencatat hasil kuat tekan beton untuk tiap sampelnya.

3.4.8 Pengujian Kuat Geser

Pengujian bertujuan untuk mengetahui kuat geser beton pada umur 28 hari. Pada pengujian ini digunakan benda uji berbentuk *Double*-L dengan ukuran (20 cm x 7.5 cm x 30 cm), jumlah benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat geser ini sebanyak 3 buah tiap variasi. Pengujian kuat geser dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

1. Benda uji geser *double-L* (20 cm x 7.5 cm x 30 cm) yang akan diuji sesuai dengan umur perawatan diambil dari tempat perawatan satu hari sebelum pengujian dilaksanakan.
2. Menimbang benda uji dan catat berat dari benda uji,
3. Masukkan benda uji pada mesin uji tekan beton secara sentris
4. Menjalankan mesin uji tekan beton.
5. Melakukan pembebanan merata hingga bidang geser benda uji menjadi hancur.
6. Mencatat beban maksimum yang mampu ditahan benda uji double-L

3.5 Bagan Penelitian