

**STUDI PERKUATAN WIREMESH SEBAGAI TULANGAN
PADA DAERAH LENTUR BALOK BETON DENGAN
AGREGAT LIMBAH BETON**

TUGAS AKHIR

**Karya tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana dari
Universitas Fajar**

Oleh:

ELFRINA NORO PADATU

1920121032



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR MAKASSAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI PERKUATAN WIREMESH SEBAGAI TULANGAN
PADA DAERAH LENTUR BALOK BETON DENGAN
AGREGAT LIMBAH BETON**

Oleh:

Elfrina Noro Padatu

1920121032

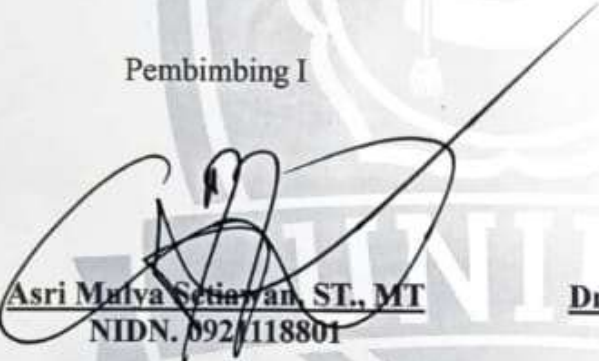
Menyetujui

Tim Pembimbing

Makassar, Tanggal 4 November 2023

Pembimbing I

Pembimbing II


Asri Mulva Setiawan, ST., MT
NIDN. 0921118801


Dr. Ir. Ritnawati, ST., MT
NIDN. 0924037901

Mengetahui,


Dekan Fakultas Teknik
Universitas Fajar


Prof. Dr. Ir. Erniati, ST., MT
NIDN. 0906107701

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Universitas Fajar



Fatmawati Rachim, ST., MT
NIDN. 0919117903

PERNYATAAN ORISINALITAS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir:

“Studi Perkuatan Wiremesh Sebagai Tulangan Pada Daerah Lentur Balok Beton Dengan Agregat Limbah Beton” adalah karya orisinal saya dan setiap serta seluruh sumber acuan telah ditulis sesuai dengan Panduan Penulisan Ilmiah yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Fajar.

Makassar, 4 November 2023

Yang menyatakan



Elfrina Noro Padatu

1920121032

ABSTRAK

Studi Perkuatan Wiremesh Sebagai Tulangan Pada Daerah Lentur Balok Beton Dengan Agregat Limbah Beton, Elfrina Noro Padatu. Pembangunan dalam bidang konstruksi yang ada di dunia termasuk di Indonesia memiliki perkembangan yang sangat pesat, sehingga teknologi beton memiliki potensi yang begitu luas, yang dimana hampir semua sarana infrastruktur dan bangunan gedung menggunakan material dasar beton, yang dimana akan menciptakan sebuah limbah beton akibat dari sisa penghancuran gedung atau pun dari pengujian laboratorium. Dalam penelitian ini fokus pada penggunaan limbah beton sebagai komposisi beton, dengan tujuan untuk mengurangi penggunaan bahan baku baru dan mengelola limbah secara berkelanjutan. Metode eksperimental perkuatan pada balok dengan penambahan *wiremesh* pada daerah lentur dengan harapan *wiremesh* dapat meningkatkan ketahanan balok yang menggunakan bahan baku limbah beton. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui nilai kuat lentur balok beton normal, balok beton normal dengan perkuatan *wiremesh*, dan balok beton limbah 100% dengan perkuatan *wiremesh* serta mengetahui pola retak yang terjadi pada masing-masing balok. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kuat lentur setelah perendaman selama 28 hari dengan benda uji balok berukuran 15 cm x 15 cm 60 cm. Dari hasil analisis data didapatkan nilai kuat lentur beton normal sebesar 2,97 MPa; pada balok beton normal perkuatan *wiremesh* sebesar 6,72 MPa dan balok beton limbah 100% dengan perkuatan *wiremesh* sebesar 6,77 MPa. Pola retak yang terjadi dari semua benda uji menunjukkan pola retak lentur dengan arah rambat yang vertikal sejajar dengan sumbu panjang balok.

Kata kunci: Balok, Beton, Lentur, Limbah, Perkuatan, *Wiremesh*

ABSTRACT

Study of Reinforcing Wiremesh as Reinforcement in Flexible Areas of Concrete Beam with Concrete Waste Aggregate, Elfrina Noro Padatu. The development in the construction field worldwide, including in Indonesia, has been rapid, leading to significant advancements in concrete technology. Concrete has a wide potential application as it serves as the primary material for almost all infrastructure and building construction. Consequently, there is a generation of concrete waste resulting from building demolition or laboratory testing. In this context, this research focuses on utilizing concrete waste as part of the concrete composition with the goal of reducing the use of new raw materials and managing waste sustainably. The method of reinforcement involves adding wiremesh to the flexural region of beams with the hope that wiremesh can enhance the durability of beams using concrete waste as the base material. The objectives of this study are to determine the flexural strength values of normal concrete beams, normal concrete beams reinforced with wiremesh, and 100% concrete waste beams reinforced with wiremesh, as well as to identify the crack patterns occurring in each beam. The testing conducted involves flexural strength testing after 28 days of immersion using test specimens measuring 15 cm x 15 cm x 60 cm. The results of this study indicate that the flexural strength of normal concrete is 2.97 MPa, while for normal concrete beams reinforced with wiremesh, it is 6.72 MPa. Additionally, the flexural strength of 100% concrete waste beams reinforced with wiremesh is 6.77 MPa. The crack patterns observed in all test specimens display a flexural cracking pattern with vertical propagation along the longitudinal axis of the beam.

Keywords: Beams, Recycle, Bending, Waste, Reinforcement, Wiremesh

KATA PENGANTAR

Salam sejahterah untuk semua, Segala Syukur dan Puji kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan kasih-Nya yang selalu dinyatakan sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir yang berjudul “**Studi Perkuatan Wiremesh Sebagai Tulangan Pada Daerah Lentur Balok Beton Dengan Agregat Limbah Beton**” yang menjadi salah satu persyaratan menyelesaikan studi Teknik Sipil Universitas Fajar.

Kegiatan penyusunan tugas akhir yang telah dilaksanakan penulis ini tidak terlepas dari dukungan dan motivasi oleh semua pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Kepada kedua orang tua dan saudara-saudara yang tak hentinya mendoakan dan memberikan nasehat, baik berupa materil maupun non materil,
2. Rektor Universitas Fajar, Bapak Mulyadi Hamid, SE., M.Si.
3. Dekan Fakultas Teknik Universitas Fajar, Ibu Prof. Dr. Ir. Erniati, ST.,MT
4. Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Fajar, Ibu Fatmawaty Rachim, S.T.,M.T.
5. Bapak Asri Mulya Setiawan, S.T.,M.T. Selaku pembimbing I dan Ibu Dr. Ir. Ritnawati, ST.,MT. Selaku pembimbing II.
6. Teman-teman Teknik Sipil Angkatan 2019 yang senantiasa mendukung.

Penulis sadar akan penulisan dan penyusunan tugas akhir ini tidak dapat dikatakan sempurna. Untuk itu penulis berharap menerima kritikan dan saran dari segala pihak untuk membantu menyempurnakan tugas akhir ini.

Demikian sepatuh dua kata penulis, kiranya tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi segala pihak. *Terima kasih.*

Makassar, 5 September 2023

Elfrina Noro Padatu
1920121032

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penelitian.....	3
I.4 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1 Pengertian Umum Beton	5
II.2 Kelebihan dan Kekurangan Beton	6
II.3 Sifat-sifat beton	7
II.3.1. Beton Segar	7
II.3.2. Beton Keras	8
II.4 Balok Beton Bertulang.....	10
II.4.1 Pengertian Balok.....	10
II.4.2 Ketentuan Balok	10
II.5 <i>Wiremesh</i>	11

II.5.1	Pengertian <i>Wiremesh</i>	11
II.5.2	Fungsi <i>Wiremesh</i>	11
II.5.3	Spesifikasi Bahan <i>Wiremesh</i>	12
II.6	Material Penyusun Beton.....	13
II.6.1	Semen Portland.....	13
II.6.2	Agregat Halus.....	14
II.6.3	Agregat Kasar.....	15
II.6.4	Limbah Beton.....	16
II.6.5	Air.....	17
II.7	<i>Slump Test</i>	18
II.8	Kuat Lentur Balok Beton.....	20
II.9	Pola Retak.....	22
II.10	Penelitian Terdahulu.....	23
BAB III METODE PENELITIAN.....		28
III.1	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	28
III.2	Alat dan Bahan.....	28
III.2.1	Alat.....	28
III.2.2	Bahan.....	29
III.3	Pelaksanaan Penelitian.....	29
III.3.1	Desain Eksperimen.....	29
III.3.2	Tahapan Penelitian.....	29
III.3.3	Pembuatan Benda Uji.....	31
III.3.4	Perawatan (<i>curing</i>).....	33
III.4	Metode Pengumpulan Data.....	34
III.4.1	Sifat Mekanik Beton (Kuat Lentur).....	34

III.5	Teknik Analisa Data	35
III.6	Bagan Alir Penelitian	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		37
IV.1	Komposisi Beton.....	37
IV.1.1	Pengujian Karakteristik.....	37
IV.1.2	Limbah Beton	38
IV.2	Mix Design.....	39
IV.3	<i>Slump Test</i>	40
IV.4	Pengujian Kuat Tekan	41
IV.5	Pengujian Kuat Lentur	43
IV.6	Pola Retak	46
IV.6.1	Pola Retak Balok Beton Normal Variasi 0% (BN)	46
IV.6.2	Pola Retak Balok Beton Normal <i>Wiremesh</i> (BNW)	48
IV.6.3	Pola Retak Balok Beton Limbah <i>Wiremesh</i> 100% (BLW)	50
BAB V PENUTUP.....		54
V.1	Kesimpulan	54
V.2	Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA		55
LAMPIRAN.....		57

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Spesifikasi Bahan <i>Wiremesh</i>	12
Tabel II.2 Penetapan nilai <i>slump</i> untuk berbagai pengerjaan beton.....	19
Tabel III.1 Jumlah benda uji balok beton.....	32
Tabel IV. 1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Halus dan Agregat Kasar	37
Tabel IV. 2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Limbah Beton	39
Tabel IV. 3 <i>Mix design</i> benda uji silinder yaitu 0.00157 m ³	40
Tabel IV. 4 <i>Mix design</i> balok beton untuk 1 benda uji yaitu 0.0135 m ³	40
Tabel IV. 5 Nilai <i>Slump</i> Untuk Tiap Variasi Limbah Beton	41
Tabel IV. 6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Silinder Beton Normal (SN)	42
Tabel IV. 7 Hasil Pengujian Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Normal, Balok Beton Normal <i>Wiremesh</i> , Balok Limbah <i>Wiremesh</i> 100%	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Limbah Beton. (<i>Sumber: Pengolahan Data, 2023</i>).....	16
Gambar II.2 Kerucut Ambras	19
Gambar II. 3 Dua Titik Pembebanan pada Balok Sederhana.....	20
Gambar II.4 Retak Lentur	22
Gambar II.5 Retak Geser.....	23
Gambar II.6 Retak Geser Lentur	23
Gambar III.1 Sketsa bentuk dan ukuran benda uji.....	32
Gambar III.2 Bagan Alir Penelitian	36
Gambar IV. 1 Pengujian <i>Slump Test</i> (<i>Sumber: Pengolahan Data</i>)	41
Gambar IV. 2 Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Silinder Normal (SN).....	42
Gambar IV. 3 Pengujian Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Normal	44
Gambar IV. 4 Pengujian Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Normal <i>Wiremesh</i> 45	
Gambar IV. 5 Pengujian Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Limbah <i>Wiremesh</i> 100%	45
Gambar IV. 6 Diagram Kurva Kuat Lentur Beton Normal, Beton Normal <i>Wiremesh</i> dan Beton Limbah <i>Wiremesh</i>	46
Gambar IV. 7 Pola Retak Balok Beton Normal 1	47
Gambar IV. 8 Sketsa Pola Retak Balok Beton Normal 1	47
Gambar IV. 9 Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal 2	47
Gambar IV. 10 Sketsa Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal 2.....	47
Gambar IV. 11 Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal 3	48
Gambar IV. 12 Sketsa Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal 3.....	48
Gambar IV. 13 Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal <i>Wiremesh</i> 1	49
Gambar IV. 14 Sketsa Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal <i>Wiremesh</i> 1 .	49
Gambar IV. 15 Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal <i>Wiremesh</i> 2	49
Gambar IV. 16 Sketsa Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal <i>Wiremesh</i> 2..	49
Gambar IV. 17 Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal <i>Wiremesh</i> 3	50
Gambar IV. 18 Sketsa Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal <i>Wiremesh</i> 3..	50

Gambar IV. 19 Pola Retak Benda Uji Balok Limbah Beton <i>Wiremesh</i> Variasi 100% 1	51
Gambar IV. 20 Sketsa Pola Retak Benda Uji Balok Limbah Beton <i>Wiremesh</i> Variasi 100% 1	51
Gambar IV. 21 Pola Retak Benda Uji Balok Limbah Beton <i>Wiremesh</i> Variasi 100% 2	51
Gambar IV. 22 Sketsa Pola Retak Benda Uji Balok Limbah Beton <i>Wiremesh</i> Variasi 100% 2	52
Gambar IV. 23 Pola Retak Benda Uji Balok Limbah Beton <i>Wiremesh</i> Variasi 100% 3	52
Gambar IV. 24 Sketsa Pola Retak Benda Uji Balok Limbah Beton <i>Wiremesh</i> Variasi 100% 3	52

DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL

Singkatan	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>	14
BSI	<i>British Standard Institution</i>	16
Cm	Centimeter	3
Mm	Milimeter	4
Kg	Kilo Gram	6
FAS	Faktor Air Semen	10
SCC	<i>Self Compacting Concrete</i>	23
SNI	Standar Nasional Indonesia	3
UK	<i>United Kingdom</i>	16
UTM	<i>Universal Testing Machine</i>	41
 Simbol		
$f'c$	Kuat tekan beton sampel cilinder	3
MPa	Mega Pascal (N/mm ²)	3
P	Beban maksimum (KN)	21
L	Jarak (bentang) antara 2 (dua) garis perletakan (mm)	21
σ	Kuat Lentur	21
a	Jarak rata-rata tampang lintang patah dan tumpuan luar terdekat (mm)	22
b	Lebar penampang lintang patah arah horizontal	45

BN	Beton Normal	17
BLW	Beton Limbah <i>Wiremesh</i>	17
BNW	Beton Normal <i>Wiremesh</i>	17
KN	Kilo Newton	21

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pembangunan dalam bidang konstruksi yang ada di dunia termasuk di Indonesia memiliki perkembangan yang sangat pesat, sehingga teknologi beton memiliki potensi yang begitu luas, yang dimana hampir semua sarana infrastruktur dan bangunan gedung menggunakan material dasar beton. Pentingnya bagi seorang teknik sipil untuk menciptakan inovasi mengenai beton yang lebih efektif. Pada setiap beton memiliki perkuatan lentur masing-masing baik dengan tulangan baja atau dengan tulangan jenis lain. Terdapat berbagai jenis dalam penulangan suatu beton semua tergantung dari pada kebutuhan dari tiap beton yang akan digunakan. Dalam sebuah balok beton begitu penting menggunakan tulangan dalam balok beton tersebut. *Wiremesh* merupakan bahan yang dapat menjadi tulangan dalam sebuah balok beton, sehingga dalam penelitian ini dilakukan Studi perkuatan *wiremesh* pada daerah lentur balok beton yang dimana *wiremesh* ini berbentuk kotak-kotak jaring yang terbuat dari logam atau baja, yang digunakan sebagai tulangan untuk memberikan kekuatan tarik pada balok beton tersebut, serta menggunakan agregat limbah dalam sebuah komposisi beton yang akan diteliti. Studi ini dilakukan berdasarkan pada kebutuhan untuk mencari sebuah jalan alternatif dan solusi yang ramah akan lingkungan dalam penggunaan bahan konstruksi, guna untuk meningkatkan performa struktural pada daerah lentur balok beton, hal ini menjadi salah satu alasan penulis memilih judul ini untuk diteliti.

Penggunaan agregat limbah sebagai salah satu bahan komposisi beton juga menjadi fokus dalam penelitian ini, dengan tujuan untuk mengurangi penggunaan bahan baku baru dan mengelola limbah secara berkelanjutan. Latar belakang ini mungkin didukung oleh literatur, penelitian sebelumnya, atau kebutuhan aktual dalam industri konstruksi dan lingkungan. Limbah beton ini menjadi sebuah inovasi dalam penelitian ini dimana limbah beton digunakan sebagai agregat

kasar dalam beton. Limbah beton merupakan limbah bekas atau beton sisa buangan baik itu dari gedung ataupun beton-beton dari bekas penelitian atau praktikum di laboratorium yang tidak terpakai lagi. Limbah beton ini di hancurkan dan menjadi pengganti agregat kasar dalam sebuah komposisi beton. (Tampubolon, 2022)

Penelitian ini sangat memiliki pengaruh yang sangat besar dalam dunia konstruksi, dikarenakan dalam setiap pembuatan beton atau penggunaan sebuah balok beton dalam dunia konstruksi akan menggunakan bahan utama yang berasal dari alam. Dalam sebuah pengujian dan eksperimen benda uji beton yang dilakukan dalam tiap tahunnya akan membuat benda uji yang begitu banyak. Kegiatan ini menyebabkan benda uji yang akan terbuang dengan begitu saja karena tidak terpakai lagi, dengan ini diperlukan perhatian yang lebih terhadap hal ini.

Dalam penelitian yang akan dilakukan, balok beton tersebut akan menggunakan tulangan dari *wiremesh* yang dimana agregat kasar balok beton diambil dari limbah beton yang dipecah-pecahkan. Studi yang akan dilakukan ini dapat memberikan sebuah manfaat praktis dalam pengoptimalan penggunaan *wiremesh* sebagai tulangan pada balok beton. Sehingga dalam praktik konstruksi sehari-hari hasil eksperimen ini dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan serta kualitas bangunan dan mengurangi penggunaan sumber daya alam.

Berdasarkan uraian di atas penulis tertarik untuk memanfaatkan limbah beton sebagai agregat kasar dalam campuran beton, serta menggunakan *wiremesh* sebagai tulangan yang nantinya akan dibahas dalam penelitian tugas akhir ini, dengan judul: **“STUDI PERKUATAN *WIREMESH* SEBAGAI TULANGAN PADA DAERAH LENTUR BALOK BETON DENGAN AGREGAT LIMBAH BETON”**.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dipaparkan di atas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah:

1. Berapa nilai kuat lentur balok dengan *wiremesh* sebagai tulangan pada daerah lentur balok beton yang menggunakan agregat limbah beton?
2. Bagaimana pola retak balok beton yang menggunakan *wiremesh* sebagai tulangan pada daerah lentur?

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan dari penelitian ini:

1. Untuk mengetahui nilai kuat lentur balok dengan *wiremesh* sebagai tulangan pada daerah lentur balok beton yang menggunakan agregat limbah beton
2. Untuk mengetahui pola retak balok beton yang menggunakan *wiremesh* sebagai tulangan pada daerah lentur.

I.4 Batasan Masalah

Untuk mempertegas studi penelitian ini agar lebih spesifik, peneliti membatasi permasalahan yang dibahas dalam studi penelitian ini, yang menjadi batasan masalahnya:

1. Penelitian dilakukan menggunakan limbah beton dengan perkuatan *wiremesh*.
2. Persentase variasi limbah beton 0%, dan 100%.
3. Pengujian *slump test* pada benda uji.
4. Benda uji berbentuk balok dengan ukuran lebar 15 cm, tinggi 15 cm, dan panjang 60 cm untuk pengujian kuat lentur.
5. Perawatan benda uji dengan cara perendaman selama 28 hari.
6. Kuat tekan beton rencana $f'c = 25$ MPa (Beton Normal)
7. Parameter pengujian hanya pada kuat lentur.
8. Pengujian kuat lentur, dilakukan pada umur 28 hari.
9. Alat untuk pengujian kuat lentur menggunakan alat *Hydraulic Concrete Beam*.

10. Menggunakan limbah beton yang ada di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Fajar Makassar
11. *Wiremesh* yang akan digunakan berdiameter 3 mm dengan spasi 50 x 50 mm.
12. Pemasangan *wiremesh* sebagai tulangan hanya pada daerah lentur balok.
13. Ukuran butir (gradasi) limbah beton yang digunakan yaitu lolos saringan 3/4" dan tertahan di saringan 1/2" dan 3/8" atau 1 – 3 cm.
14. Tidak mengukur lebar retakan dari pada benda uji.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Pengertian Umum Beton

Beton merupakan salah satu konstruksi yang sangat umum digunakan untuk membangun sebuah bangunan baik itu gedung, jalan, jembatan, dan lainnya. Beton ini dibuat dengan cara mencampurkan antara agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil), kemudian ditambahkan air dan juga semen sehingga menjadi satu kesatuan. Pencampuran tersebut menyebabkan reaksi kimia antara air dan semen sehingga dari peristiwa tersebut terjadi pengerasan seperti batuan.

Beton yang telah mengeras dapat digambarkan sebagai sebuah bahan bangunan buatan yang terdiri dari rongga-rongga yang diisi dengan agregat kasar atau batu pecah yang besar, dan diisi oleh butiran kecil seperti agregat halus atau pasir, serta pori-pori di antara agregat halus diisi oleh campuran semen dan air. Selain peran tersebut, semen juga memiliki fungsi sebagai agen perekat atau pengikat selama tahap pengerasan. Ini memungkinkan butiran agregat untuk saling terikat dengan kuat, membentuk suatu kesatuan yang padat dan kokoh. Campuran komponen beton harus diatur dengan teliti, sehingga menghasilkan adukan beton yang mudah diolah dalam keadaan basah, mampu mencapai kekuatan tekan yang direncanakan setelah pengerasan, dan juga ekonomis.

Menurut SNI-2847-2013(2013), pengertian beton adalah campuran antara semen *Portland* atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. (Standar Nasional Indonesia (SNI), 2013). Beton dibentuk dari gabungan antara material agregat kasar dan material agregat halus. Agregat halus yang umumnya digunakan mencakup pasir alam serta pasir yang dihasilkan dari kegiatan industri pemecah batu. Sementara itu, agregat kasar yang digunakan dapat berupa batu alam atau material batuan hasil dari proses industri pemecah batu. Komposisi campuran bahan untuk menciptakan adonan beton harus dihitung dengan cermat, sehingga hasilnya adalah adonan beton yang dapat dengan mudah diolah dan mampu

mencapai kekuatan tekan sesuai dengan yang direncanakan setelah mengeras selama 28 hari. Dengan begitu beton akan mengeras dengan sempurna. (Putra, 2021)

Beton dapat diklarifikasikan berdasarkan berat jenisnya (Standar Nasional Indonesia (SNI), 2002) (SNI 03-2847-2002), yaitu:

1. Beton Ringan: Berat jenis $< 1900 \text{ kg/m}^3$
2. Beton Normal: Berat jenis $2200 \text{ kg/m}^3 - 2500 \text{ kg/m}^3$
3. Beton Berat : Berat jenis $> 2500 \text{ kg/m}^3$

II.2 Kelebihan dan Kekurangan Beton

Adapun kelebihan dan kekurangan dari beton Menurut (Tjokrodinuljo, 2007) beton memiliki beberapa kelebihan antara lain sebagai berikut :

1. Harganya lebih terjangkau karena menggunakan bahan pokok yang umumnya mudah ditemukan,
2. Termasuk dalam kategori material yang tahan lama, resistan terhadap aus, panas, korosi, atau kerusakan akibat lingkungan, yang berdampak pada pengurangan biaya perawatan,
3. Memiliki kekuatan tekan yang signifikan, sehingga saat digabungkan dengan baja tulangan yang memiliki kekuatan tarik yang tinggi, dapat membentuk struktur yang tangguh terhadap tekanan dan tarikan. Oleh karena itu, struktur beton bertulang sangat sesuai digunakan untuk berbagai elemen seperti pondasi kolom, balok, dinding, jalan, landasan pesawat terbang, tangki air, pelabuhan, bendungan, jembatan, dan lain sebagainya,
4. Kemudahan dalam proses pengerjaan karena beton dapat dicetak dengan mudah sesuai bentuk dan dimensi yang diinginkan. Cetakan beton juga dapat digunakan berulang kali, menghasilkan efisiensi ekonomi yang lebih tinggi.

Adapun beberapa yang menjadi kekurangan dari beton menurut (Tjokrodimuljo, 2007):

1. Komposisi material dasar yang membentuk beton, baik agregat halus maupun agregat kasar, beragam sesuai dengan tempat pengambilannya. Hal ini mempengaruhi metode perencanaan dan pelaksanaan yang berbeda-beda.
2. Beton memiliki berbagai tingkatan kekuatan, sehingga perlu direncanakan sesuai dengan bagian spesifik bangunan yang akan dibangun. Oleh karena itu, cara perencanaan dan pelaksanaannya juga beragam.
3. Beton memiliki ketahanan tarik yang terbatas, menyebabkannya rentan terhadap retak dan kerapuhan. Maka dari itu, diperlukan strategi untuk mengatasi masalah ini, contohnya dengan memasukkan tulangan baja, serat baja, dan solusi lainnya untuk meningkatkan daya tahan terhadap tarikan.

II.3 Sifat-sifat beton

Sifat - sifat beton terbagi dalam dua kategori yaitu beton segar dan beton keras (Wika, 2004).

II.3.1. Beton Segar

- a. Kemudahan dalam pelaksanaan atau *workability*, umumnya diukur melalui tingkat deformasi *slump* (cm) dan dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut:
 1. Kuantitas air yang digunakan. Semakin banyak air yang digunakan, semakin mudah beton dikerjakan.
 2. Penambahan semen. Dengan peningkatan jumlah semen, penambahan air mungkin diperlukan agar rasio air semen tetap, yang pada akhirnya akan mempermudah proses kerja beton.
 3. Distribusi ukuran campuran pasir dan kerikil.

4. Penggunaan ukuran maksimum butiran kerikil.
 5. Penggunaan butiran batu yang berbentuk bulat.
- b. Segregasi, merujuk pada cenderungnya agregat kasar untuk terpisah dari campuran adukan beton. Risiko segregasi akan meningkat dalam situasi berikut:
1. Campuran yang memiliki proporsi semen yang rendah atau kurang.
 2. Penggunaan air dalam jumlah yang berlebihan.
 3. Penggunaan butiran kerikil dengan ukuran yang semakin besar.
 4. Campuran yang kasar atau kekurangan pasir halus.
 5. Tinggi jatuh saat menuangkan beton yang terlalu tinggi.
- c. *Bleeding*, mengacu pada kecenderungan campuran air untuk naik ke permukaan (terpisah) dari beton segar yang baru saja dipadatkan. Hal ini dapat dikurangi dengan cara berikut:
1. Menambahkan lebih banyak semen ke dalam campuran.
 2. Menggunakan jumlah air sesedikit mungkin.
 3. Menggunakan pasir dalam jumlah yang lebih banyak.
 4. Menyesuaikan intensitas dan durasi getaran saat proses pemadatan sesuai dengan tingkat *slump* campuran.

II.3.2. Beton Keras

a. Karakteristik dalam Jangka Pendek

1. Kekuatan Tekan

- a) Pengaruh dari perbandingan air dan semen serta tingkat pemadatan.
- b) Dipengaruhi oleh jenis dan kualitas semen yang digunakan.
- c) Terkait dengan jenis dan kekasaran permukaan agregat yang digunakan.

- d) Pertumbuhan kuat tekan seiring bertambahnya usia (biasanya pada kondisi normal, kekuatan meningkat seiring waktu).
 - e) Suhu memiliki dampak, dimana suhu yang lebih tinggi mengakselerasi proses pengerasan.
 - f) Perawatan yang diberikan juga memiliki efek pada kekuatan beton.
2. Kekuatan tarik beton adalah sekitar $1/18$ dari kekuatan tekan saat beton masih muda, dan menjadi $1/20$ setelah waktu tertentu. Kekuatan tarik ini penting untuk menahan retakan akibat perubahan kadar air dan suhu.
 3. Kekuatan geser, pada praktiknya selalu terkait dengan kekuatan tekan dan tarik.
 4. Kekuatan Lentur Balok dianggap sebagai elemen dominan dalam menanggung momen lentur dan gaya geser.
- b. Karakteristik dalam Jangka Panjang
1. Rangkak (*Creep*) Rangkak adalah perubahan deformasi (regangan) seiring waktu akibat beban konstan. Faktor-faktor yang mempengaruhi rangkak meliputi:
 - a) Kekuatan beton. Semakin tinggi kekuatan, semakin rendah rangkak.
 - b) Perbandingan campuran. Penurunan nilai FAS mengakibatkan penurunan rangkak.
 - c) Agregat. Kehadiran agregat halus dan semen yang lebih banyak berkontribusi pada peningkatan rangkak.
 - d) Usia. Kecepatan rangkak menurun seiring bertambahnya usia beton.
 2. Susut (*Shrinkage*) Susut adalah penyusutan volume beton karena hilangnya uap air akibat penguapan. Faktor-faktor yang mempengaruhi susut antara lain:

- a) Agregat berperan dalam mengendalikan susut pasta semen.
- b) Perbandingan air semen. Semakin besar nilai FAS, semakin besar efek susut.
- c) Ukuran elemen beton. Laju dan tingkat susut berkurang seiring bertambahnya volume elemen beton.

II.4 Balok Beton Bertulang

II.4.1 Pengertian Balok

Balok adalah salah satu elemen penting dalam struktur bersama dengan kolom dan pondasi. Fungsinya adalah untuk mengalirkan beban-beban dari atas plat ke kolom, yang selanjutnya dialirkan ke pondasi. Selain menahan beban gravitasi seperti beban mati dan beban hidup, balok juga mampu menanggung beban lateral seperti angin atau gempa. Tiap elemen dalam struktur umumnya mengalami gaya-gaya internal berupa momen, geser, torsi/puntir, dan gaya aksial (Henricus Priyosulistyo, 2021).

Balok adalah salah satu elemen penting dalam struktur bersama dengan kolom dan fondasi. Fungsinya adalah untuk mengalirkan beban-beban dari atas plat ke kolom, yang selanjutnya dialirkan ke pondasi. Selain menahan beban gravitasi seperti beban mati dan beban hidup, balok juga mampu menanggung beban lateral seperti angin atau gempa. Tiap elemen dalam struktur umumnya mengalami gaya-gaya internal berupa momen, geser, torsi/puntir, dan gaya aksial.

II.4.2 Ketentuan Balok

Berdasarkan standar SNI tahun 2002, sebuah struktur dianggap sebagai balok jika memenuhi persyaratan:

- a. Lebar inti dari balok harus setidaknya $1/50$ dari panjang jarak antara titik-titik penyangga pada balok.
- b. Penempatan tulangan baja dalam balok harus menggunakan batang berdiameter minimum 12 mm. Lebih baik menghindari penggunaan lebih dari dua lapisan tulangan, kecuali dalam situasi khusus.

- c. Tulangan tarik harus ditempatkan merata di seluruh area penampang yang mengalami tarikan maksimal.
- d. Jika tinggi balok melebihi 90 cm pada sisi-sisi tertentu, diperlukan pemasangan tulangan dengan luas minimal 10% dari luas tulangan utama tarik. Diameter minimal 8 mm untuk baja dengan kekerasan sedang dan lunak, serta diameter minimal 6 mm untuk baja keras.
- e. Balok wajib memiliki sengkang. Jarak maksimal antara sengkang adalah 30 cm. Jarak antara sengkang yang digunakan untuk menahan gaya geser tidak boleh melebihi 2/3 dari tinggi balok. Diameter minimal besi untuk sengkang adalah 6 mm untuk baja sedang dan lunak, serta diameter minimal 5 mm untuk baja keras.
- f. Tulangan bawah perlu dipasang di daerah tumpuan balok, sementara tulangan atas diperlukan di daerah lapangan balok.

II.5 Wiremesh

II.5.1 Pengertian Wiremesh

Wiremesh merupakan suatu bahan konstruksi yang terbuat dari sejumlah batang besi baja atau aluminium yang banyak, yang kemudian dihubungkan satu sama lain melalui pengelasan atau penggunaan PIN serta peralatan lainnya. Akibatnya, bahan ini membentuk lembaran yang bisa digulung sesuai kebutuhan.

Berbagai jenis dan ukuran *wiremesh* dibuat sesuai dengan kebutuhan proyek yang berbeda. Contohnya, *wiremesh* dengan ukuran kecil atau tipis digunakan untuk menyaring sayuran dan tanaman, sedangkan *wiremesh* dengan ukuran yang lebih besar digunakan untuk proyek konstruksi. (Agustina, dkk., 2021)

II.5.2 Fungsi Wiremesh

Berikut ada beberapa fungsi umum *wiremesh* dalam dunia konstruksi :

1. Sebagai Besi Tulangan

Penggunaan terbanyak *wiremesh* adalah sebagai tulangan untuk saluran drainase beton seperti *U Ditch Precast*, *Culvert Box*, dan penutup pada buis beton, meskipun ada juga yang menggunakan sebagai tulangan beton.

2. Penguat Lantai dan Jalan

Manfaat berikutnya adalah sebagai pendukung lantai dan jalan karena besi anyaman memiliki kemampuan untuk menahan beban berat. Besi ini bisa dimanfaatkan untuk memperkuat lantai yang akan dicor atau untuk pembuatan jalan beton. Selain itu, besi anyaman juga dapat digunakan sebagai plat pada bagian atas lantai bangunan. Kemampuan besi ini sebagai penopang sangat kuat sehingga aman digunakan untuk lantai yang lebih tinggi seperti lantai dua dan seterusnya.

3. Plat Menggantung

Penggunaan *wiremesh* juga bisa diterapkan pada plat yang tergantung di gedung bertingkat, seperti contohnya dalam pembangunan balkon atau sistem pengaliran air hujan pada gedung bertingkat. (Isneini, dkk., 2020)

4. Sebagai Pagar Rumah Maupun Pembatas Lahan

Sekarang ini, banyak orang menggunakan besi anyam untuk bagian luar bangunan, seperti pagar rumah, karena bentuknya yang unik dan daya tahannya yang tinggi. Besi anyam juga dapat digunakan sebagai pembatas lahan. Biasanya, besi anyam yang digunakan untuk pagar sudah dilapisi dengan galvanis untuk mencegah karat. Penggunaan besi anyam pada pagar sangat cocok bagi mereka yang ingin memberikan kesan yang berbeda pada tampilan luar rumah.

II.5.3 Spesifikasi Bahan *Wiremesh*

Adapun spesifikasi dari *wiremesh* yang berbeda dari tulangan baja biasa, dilihat pada Tabel II. 1:

Tabel II.1 Spesifikasi Bahan *Wiremesh*

Heavy Welded Mesh				Roll		
Pitch	Wire Diameter	Type	Finish	Width	Length	Weight
100 x 100mm	4 mm	448	Galvanized	1,8 m	30 m	114 kg
100 x 100mm	3,25 mm	4410	Galvanized	1,8 m	30 m	72 kg

100 x 50 mm	3,15 mm	4210	Galvanized	1,8 m	30 m	102 kg
50 x 50 mm	4 mm	228	Galvanized	1,8 m	30 m	200 kg
50 x 50 mm	4 mm	45k	Galvanized	0,9 m	30 m	105 kg
50 x 50 mm	3 mm	2210	Galvanized	1,8 m	30 m	112 kg
50 x 50 mm	3 mm	35k	Galvanized	0,9 m	30 m	58 kg
50 x 50 mm	2,6 mm	2212	Galvanized	1,8 m	30 m	100 kg
50 x 50 mm	2 m	2214	Galvanized	1,8 m	30 m	53 kg
50 x 50 mm	1,95 mm	2114	Galvanized	1,8 m	30 m	79 kg
25 x 25 mm	2 mm	1114	Galvanized	1,2 m	30 m	70 kg
25 x 25 mm	2 mm	225k	Galvanized	0,9 m	30 m	48 kg
75 x 75 mm	1,2 mm	Roof mesh	Galvanized	1,8 m	30 m	13,5 kg

(Sumber: PT. F&R Sinergi Indonesia, 2011)

II.6 Material Penyusun Beton

II.6.1 Semen Portland

Semen memegang peran sentral dalam konstruksi struktur permanen karena bertindak sebagai pengikat anorganik yang dicampur dengan pasir, agregat, atau serat-serat untuk membentuk beton. Selain itu, semen juga digunakan dalam pembuatan bahan-bahan yang akan menjadi komponen dalam proyek konstruksi, termasuk bata berlubang, ornamen cetakan, dan sejenisnya.. (Mudjanarko, 2018)

Semen *Portland* adalah hasil industri dari bahan baku batu kapur dan lempung atau bahan pengganti lainnya yang diolah menjadi padatan berbentuk bubuk melalui proses pembakaran dan penggilingan, kemudian dikemas dalam kantong dengan berat rata-rata 40-50 kg. Semen bisa dibagi menjadi dua kategori, yakni semen hidrolik dan semen non hidrolik. Semen hidrolik akan mengeras

setelah bereaksi dengan air, sementara semen non hidraulik merupakan jenis semen yang tidak akan mengeras saat bereaksi dengan air.

Berikut ini adalah beberapa tipe yang di miliki oleh semen portland sebagai berikut :

- a. Tipe 1 semen pada tipe 1 biasanya digunakan untuk konstruksi umum, yang tidak memiliki ketentuan pada pengaplikasiannya.
- b. Tipe 2 biasanya digunakan untuk konstruksi bangunan dengan suhu tinggi.
- c. Tipe 3 jenis semen ini memiliki tingkat kekuatan dalam proses pengaplikasiannya.
- d. Tipe 4 jenis semen ini biasa digunakan untuk konstruksi bendungan dan lapangan udara yang membutuhkan *structure concrete*.
- e. Tipe 5 biasanya digunakan untuk konstruksi material beton bertulang.

II.6.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah mineral alami yang memiliki ukuran butiran kurang dari 5 mm atau lolos saringan no.4 dan tertahan pada saringan no. 200 disebut sebagai agregat halus. Batu halus (pasir) adalah bahan batu halus yang tersusun dari partikel 0,14 – 5 mm, yang dapat diekstraksi atau dilarutkan (pasir buatan) dari hasil integrasi batu alam (pasir alam). Pasir laut adalah gundukan yang dibawa ke pantai. Agregat halus berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton dan berasal dari hasil disintegrasi alami batuan alam atau dari pasir buatan yang dihasilkan dari *stone crusher*. Biasanya, pasir ditemukan di sungai-sungai besar, namun disarankan untuk memilih pasir yang memenuhi syarat jika akan digunakan sebagai bahan bangunan

Spesifikasi yang harus dipenuhi oleh agregat halus yang akan digunakan harus sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan oleh ASTM. Hanya jika semua persyaratan tersebut terpenuhi, maka agregat tersebut dapat dianggap memiliki kualitas yang baik. Ketentuan tersebut mencakup hal-hal berikut::

1. Susunan Partikel (Gradasi) Hasil analisis penyaringan akan menggambarkan karakteristik dari agregat halus tersebut. Dengan menganalisis penyaringan, akan diperoleh nilai *Fine Modulus*. Berdasarkan *Fine Modulus* ini, pasir dapat dikelompokkan ke dalam tiga jenis berbeda:

- a. Pasir Kasar : $2.9 < FM < 3.2$
 - b. Pasir Sedang : $2.6 < FM < 2.9$
 - c. Pasir Halus : $2.2 < FM < 2.6$
1. Kadar lumpur dalam kata lain, jika kandungan lumpur atau partikel yang lebih kecil dari 75 mikron (menjadi saringan no. 200) dalam agregat melebihi 5% dari berat keringnya, maka harus dicuci. Jika tidak, maka agregat tidak memenuhi standar yang ditetapkan,
 2. Kadar Liat tidak boleh melebihi 1% (terhadap berat kering),
 3. Agregat halus harus tidak mengandung zat organik yang bisa merusak beton. Jika diuji di laboratorium, kadar zat organik dalam agregat halus tidak boleh menghasilkan warna yang lebih gelap dari standar uji *Abrams-Harder*,
 4. Bahan yang digunakan dalam pembuatan beton dan akan terus terkena kelembaban atau bersentuhan dengan tanah yang basah haruslah agregat halus yang tidak mengandung bahan-bahan yang bereaksi terhadap alkali dalam semen. Jumlah bahan tersebut harus dijaga agar tidak terlalu banyak sehingga mengakibatkan terjadinya pemuaihan berlebihan pada mortar atau beton. Semen dengan kadar alkali tidak lebih dari 0,60% dapat digunakan atau bahan tambahan dapat ditambahkan untuk mencegah pemuaihan,
 5. Sifat kekal (keawetan) diuji dengan larutan garam sulfat :
 - a. Jika dipakai Natrium – Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%,
 - b. Jika dipakai Magnesium – Sulfat, bagian yang hancur maksimum 15%.

II.6.3 Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan komponen penting dalam pembentukan struktur kongkrit dan berperan besar dalam membantu proses pengerasan kongkrit. (Patah & Dasar, 2022) Agregat kasar terdiri dari pecahan batu dengan ukuran lebih dari 5 mm, namun untuk penggunaan dalam konstruksi, ukurannya biasanya tidak lebih dari 50 mm. Agregat kasar dapat diidentifikasi dengan saringan No. 4 yang merupakan spesifikasi dari AASHTO atau saringan 2,36 mm sesuai dengan

standar BSI (*British Standard Institution*), yang juga dikenal sebagai BS (*British Standard*).

II.6.4 Limbah Beton

Beton adalah suatu material konstruksi yang terbentuk melalui pencampuran antara semen *portland*, pasir, kerikil, dan air. Beton daur ulang merujuk pada campuran yang dihasilkan melalui pengolahan kembali bahan serupa yang telah digunakan sebelumnya. Limbah beton bekas praktikum yang di pecah sesuai nomor saringan untuk agregat kasar.(Risamawarni & Rachim, 2020)



Gambar II.1 Limbah Beton. (Sumber: *Pengolahan Data*, 2023)

Studi sebelumnya mengenai penggunaan beton daur ulang telah dilakukan oleh *United Kingdom* (UK) dan diakui sebagai inisiator pertama dalam pemanfaatan jenis beton ini. Pemanfaatan limbah beton bertujuan untuk mengurangi akumulasi material beton yang tidak terpakai serta mengurangi ketergantungan pada agregat alam yang ketersediaannya semakin terbatas. Pendekatan ini mendukung pengembangan infrastruktur nasional dengan berfokus pada pemanfaatan limbah material dan konstruksi berwawasan lingkungan (*green construction*).

Penggunaan limbah beton menjadi pengganti agregat kasar sudah menjadi penelitian, hasil dari limbah beton tersebut:

1. *Workability* beton mutu tinggi cukup sulit dalam pengerjaannya baik dalam proses pencampuran maupun pencetakan.
2. Kuat lentur beton rata-rata dengan variasi limbah beton 0% (BN 0%) sebesar 2,79 MPa; variasi 50% (BL 50%) sebesar 2,67 MPa; variasi 50% dengan perkuatan *wiremesh* (BLW 50%) sebesar 7,91 MPa; variasi 100% limbah beton (BL 100%) sebesar 2,70 MPa dan variasi 100% dengan *wiremesh* (BLW 100%) sebesar 7,13 MPa.
3. Persentase rata-rata peningkatan kuat lentur balok dengan perkuatan *wiremesh* terhadap balok tanpa perkuatan-perkuatan pada variasi limbah beton 50% mengalami kenaikan sebesar 196,06 persen sedangkan pada variasi limbah beton 100% mengalami kenaikan sebesar 163,80 persen.

II.6.5 Air

Air memiliki peranan penting dalam proses pembuatan beton, sebagai pemicu reaksi kimia pada semen, pengusapan agregat, serta untuk mempermudah proses konstruksi beton. Idealnya, air yang aman untuk diminum dapat digunakan dalam pencampuran beton. Penggunaan air yang terkontaminasi dengan zat berbahaya seperti garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya dapat berdampak negatif pada kualitas beton, bahkan mengubah sifat-sifatnya (Mulyono T, 2004). Kelebihan air yang terlibat dalam proses hidrasi penting untuk menjaga tingkat kekentalan agar mencapai tingkat kelenturan yang optimal. Kelebihan air ini kemudian akan menguap atau tersisa dalam beton setelah pengerasan, menyebabkan terbentuknya pori-pori kapiler dalam struktur beton yang keras. Pada umumnya, air dianggap cocok sebagai bahan pencampur beton apabila menghasilkan beton dengan kekuatan minimal 90% dari beton yang menggunakan air distilasi. (Tjokrodimuljo, 1996)

Air yang digunakan dalam pencampuran beton harus memenuhi persyaratan khusus. Persyaratan kualitas air untuk mencampur beton sesuai dengan *Standar British* (BS.3148-80) (Mulyono T, 2003):

- a. Garam-garam Anorganik
- b. NaCl dan Sulfat
- c. Air Asam

- d. Air Basa
- e. Air Gula
- f. Minyak
- g. Rumput Laut
- h. Zat-Zat Organik, Lanau Dan Bahan-Bahan Terapung
- i. Air Limbah

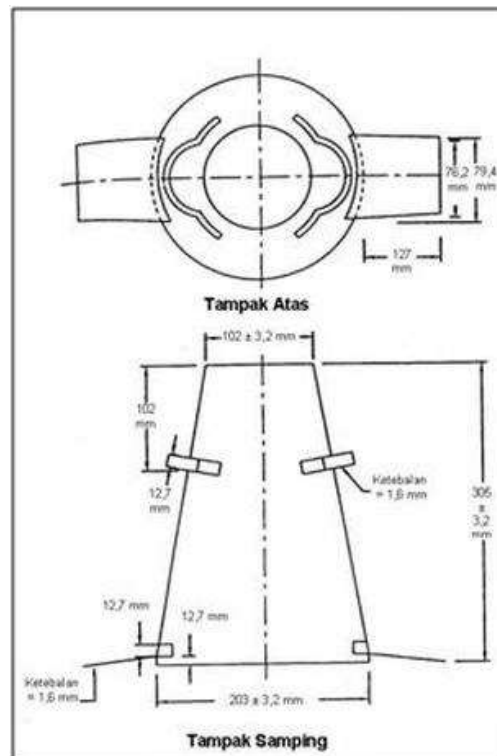
II.7 *Slump Test*

Pengujian *slump* mengacu pada SNI 1972-2008 tentang cara uji *slump* beton. Pengujian ini dilakukan menggunakan kerucut baja terpancung, yang berlubang pada kedua sisi atas dan bawahnya. Kerucut ini berdiameter 200 mm pada bagian bawah, 100 mm pada bagian atas dan tinggi 300 mm. Alat uji *slump* juga dilengkapi tongkat baja yang berdiameter 16 mm dan Panjang 600 mm serta alas corong yang terbuat dari plat baja, mistar, dan sendok semen. Langkah-langkah pengujian slump:

1. Persiapkan alat dan bahan yang diperlukan, yaitu kerucut slump, pelat baja, adukan beton, tongkat baja, dan mistar.
2. Letakkan kerucut *slump* di atas pelat baja dengan diameter besar di bagian bawah.
3. Masukkan adukan beton ke dalam kerucut sampai 1/3 volume kerucut dengan hati-hati sambil menahan posisi corong tidak berubah.
4. Padatkan adukan di dalam kerucut dengan menusukkan tongkat baja sebanyak 25 kali ke dalam kerucut, hal tersebut dilakukan sebanyak 3 kali lapis.
5. Setelah selesai, ratakan permukaan beton dengan tongkat baja.
6. Cetakan kerucut diangkat perlahan-lahan tegak lurus ke atas.
7. Balikkan cetakan dan letakkan perlahan-lahan di samping benda uji.
8. Ukur *slump* yang terjadi dengan menentukan tinggi cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji menggunakan tongkat baja dan gunakan mistar untuk melihat nilai *slump*.

Slump yang terjadi akan menunjukkan seberapa banyak beton yang mengalami deformasi atau penurunan volume setelah dicor. Hasil pengujian ini

akan memberikan informasi penting untuk menentukan kualitas beton yang dicor dan apakah beton tersebut memenuhi standar yang ditetapkan. (Standar Nasional Indonesia (SNI), 2008)



Gambar II.2 Kerucut Ambras

Faktor air semen memiliki pengaruh terhadap nilai slump, dimana semakin banyak air yang digunakan dan semakin sedikit semen, maka nilai *slump* akan semakin tinggi. Hal ini terjadi karena pasta semen menjadi lebih encer. Semakin besar nilai *slump test*, menunjukkan bahwa adukan beton menjadi lebih mudah diolah.

Penetapan nilai *slump* untuk berbagai pengerjaan beton dapat dilihat pada Tabel II.2:

Tabel II.2 Penetapan nilai *slump* untuk berbagai pengerjaan beton

Pemakaian beton (berdasarkan jenis struktur yang dibuat)	Nilai <i>Slump</i> (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, plat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12,5	5

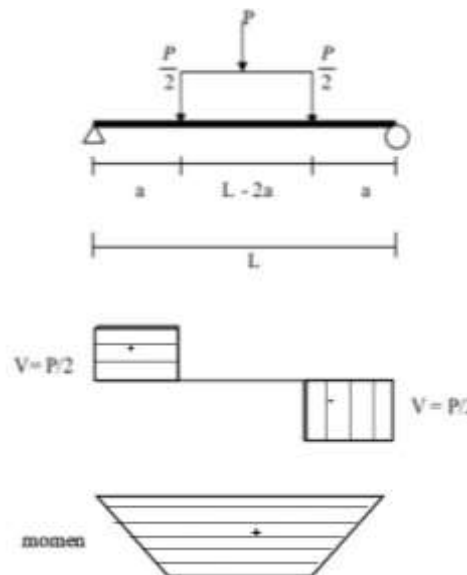
Fondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan struktur di bawah tanah	9	2,5
Plat, balok, kolom, dinding	15	7,5
Perkerasan jalan	7,5	5
Pembetonan massal (beton massa)	7,5	2,5

Sumber : (PBBI N.1-2.1971).

II.8 Kuat Lentur Balok Beton

Kekuatan tarik lentur merujuk pada kapasitas balok beton yang ditempatkan di antara dua penyangga untuk menahan gaya vertikal yang bekerja pada benda uji hingga benda uji tersebut patah. Nilai ini diukur dalam satuan Mega Pascal (MPa) dan mengindikasikan tekanan per unit area. (Standar Nasional Indonesia (SNI), 2011).

Berikut sketsa pengujian kuat lentur pada balok beton serta momen yang dihasilkan, yaitu:



Gambar II. 3 Dua Titik Pembebanan pada Balok Sederhana

Pada dasarnya terdapat tiga jenis keretakan pada balok:

1. Retak lentur (*flexural crack*), terjadi di bagian yang memiliki momen lentur yang lebih besar dan gaya geser yang lebih rendah. Retak cenderung bergerak hampir tegak lurus terhadap sumbu balok.
2. Retak geser lentur (*flexural shear crack*) terjadi di wilayah balok dengan retakan lentur yang sudah ada sebelumnya. Retak geser lentur merupakan hasil dari perluasan retak miring yang berasal dari retakan lentur yang sudah terjadi sebelumnya..
3. Retak geser di bagian balok (*web shear crack*), ialah retakan diagonal yang terjadi pada bagian garis netral penampang akibat gaya geser maksimal yang rendah dan tegangan aksial yang sangat minim.

Adapun untuk kuat lentur digunakan perhitungan sebagai berikut :

- a. Pengujian dengan bidang terletak pada daerah pusat (daerah 1/3 bagian tengah dari jarak titik perletakan), persamaan yang digunakan untuk menghitung kuat lentur beton yaitu Persamaan II.1.

$$\sigma = \frac{P.L}{b.h^2} \dots\dots\dots \text{II.1}$$

- b. Pengujian benda uji yang patahnya berada di daerah luar pusat (daerah 1/3 bagian tengah dari jarak titik perletakan) dan jarak antara titik patah dan titik pusat kurang dari 5% dari jarak antara titik perletakan, persamaan yang digunakan untuk menghitung kuat lentur beton yaitu Persamaan II.2

$$\sigma = \frac{P.a}{b.h^2} \dots\dots\dots \text{II.2}$$

Keterangan :

σ : kuat lentur benda uji (MPa)

P : beban pada waktu lentur (KN)

L : jarak (bentang) antara 2 (dua) garis perletakan (mm)

- a : jarak rata-rata tampang lintang patah dan tumpuan luar terdekat (mm)
- b : lebar penampang lintang patah arah horizontal (mm)
- h : tinggi penampang lintang patah arah vertikal (mm)

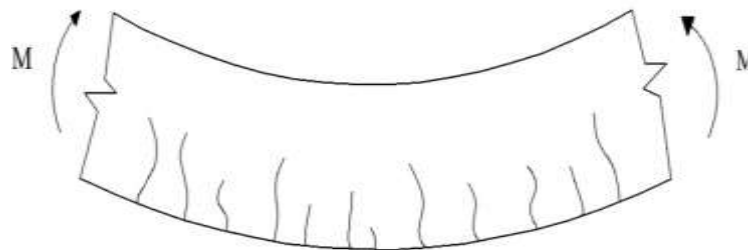
Catatan : Untuk benda uji yang patahnya diluar pusat (daerah 1/3 dari jarak titik perletakan bagian tengah) dan jarak antara titik pembebanan dan titik patah lebih dari 5% bentang, tidak digunakan hasil pengujian tersebut.(M. Fikry Nafrisar, 2022)

II.9 Pola Retak

Retak yang pada umumnya terjadi menunjukkan bahwa, lebar dari retakan sebanding dengan tegangan yang berada pada tulangan tarik dan tebal beton yang menutupi baja. Keretakan tidak dapat dihindari akan tetapi, ukuran retakan dapat dibatasi dengan pendistribusian tulangan baja. (Eka Putri Pertiwi, 2018)

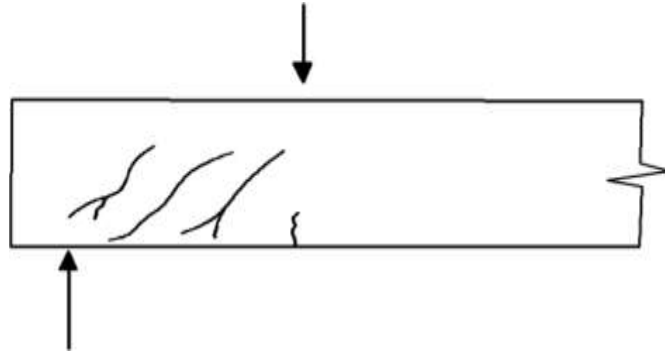
Terdapat tiga jenis pola retakan pada balok yaitu :

- a. Retak lentur (*Flexural Crack*), terjadi pada daerah yang nilai momen lenturnya lebih besar dari gaya geser kecil. Arah retak hampir tegak lurus terhadap sumbu balok.



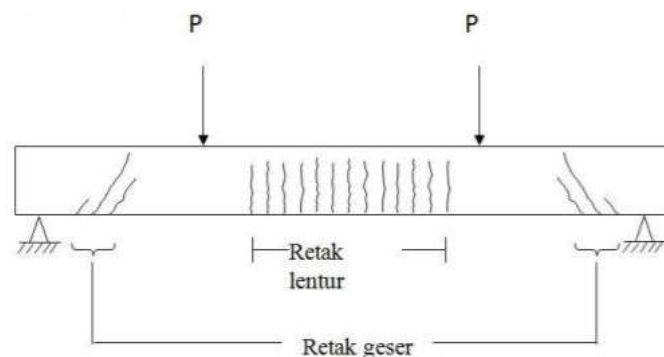
Gambar II.4 Retak Lentur

- b. Retak geser (*Shear Crak*), adalah retakan miring yang terjadi pada daerah garis netral penampang dimana gaya geser maksimum dan tegangan aksial kecil.



Gambar II.5 Retak Geser

- c. Retak geser-lentur (*Flexural Shear Crack*), yaitu balok yang sudah mengalami retak lentur. Retak geser lentur adalah perambatan retak diagonal dari retak lentur yang terjadi sebelumnya.



Gambar II.6 Retak Geser Lentur

II.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian terkait limbah beton dan *wiremesh* sangat dibutuhkan sebagai referensi peneliti.

1. Eka Putri Pertiwi (2018), melakukan penelitian tentang “Studi Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulangan Variasi *Overlapping* Tulangan Di Seperdua Bentangan Dengan Metode Retrofit Menggunakan *Wiremesh* dan *SCC*” dengan metode yang dilakukan yaitu peneliti melakukan uji eksperimental dan kajian pustaka tentang perilaku lentur balok beton bertulang material retrofit

menggunakan *wiremesh* dan SCC dengan variasi *overlapping* tulangan pada seperdua bentangan. Untuk nilai daktilitas pada balok beton standar adalah 4.21. Balok dengan sambungan 50D memiliki nilai 3.98, sementara balok dengan sambungan 60D mendapatkan nilai 3.63, dan balok dengan sambungan 70D memperoleh nilai 2.44. Hasil analisis menunjukkan bahwa, meskipun dilakukan retrofit, kuat tekan pada balok normal dan balok dengan variasi *overlapping* memberikan hasil yang hampir serupa, namun nilai daktilitasnya menurun. Ini mengindikasikan bahwa pemasangan *overlapping* di tengah bentang tidak disarankan karena berpotensi mengurangi kekuatan lentur pada balok.

2. Dahlia Patah, Amry Dasar (2022), melakukan penelitian tentang “Pengaruh Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton” dengan metode yang dilakukan adalah peneliti melakukan pencampuran beton dengan kekuatan karakteristik 28 hari yaitu 24,9 MPa dibuat dengan menggunakan rasio air/semén 0,4. Perkembangan kekuatan campuran beton yang mengandung agregat limbah beton dibandingkan dengan beton konvensional. Adapun hasil penelitian dari peneliti yaitu campuran beton yang mengandung hingga 40% agregat limbah beton daur ulang mampu mencapai tingkat kekuatan antara 93,7% hingga 98,5% dibandingkan dengan beton konvensional. Hasil uji kuat tekan beton dengan 10% kandungan limbah beton menunjukkan puncak nilai pada umur 28 hari, yaitu 40,03 MPa, dengan persentase peningkatan sebesar 16,4% dari beton biasa. Dengan demikian, hasil ini menunjukkan potensi pemanfaatan limbah beton sebagai agregat kasar dalam komposisi campuran beton.
3. Erni Ferbiani (2013), melakukan penelitian tentang “Pengaruh Pemanfaatan Pecahan Beton Sebagai Alternatif Pengganti Agregat Kasar Sebagai Campuran Beton K 250 Kg/cm²” dengan metode eksperimental dan metode teoritis. Secara keseluruhan, metode eksperimental mencakup penggambaran desain objek uji dan penyajian hasil yang dihasilkan dari pengujian di laboratorium. Sementara itu, metode teoritis digunakan untuk membandingkan hasil yang diperoleh dari metode eksperimental dengan acuan standar, seperti ACI

440.2R-08 dan SNI-2874-2002. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pada BW 2, kapasitas beban meningkat sekitar 11,32% dibandingkan dengan BN 1, dan mengalami kenaikan sekitar 27,71% dibandingkan dengan BN 2. Sementara itu, pada BGW 1, terjadi peningkatan sekitar 69,81% terhadap BN 1 dan sekitar 94,80% terhadap BN 2. Pada jenis balok BGW 2, tercatat peningkatan sekitar 75,47% dibanding BN 1 dan sekitar 101,30% dibanding BN 2. Namun, dalam konteks balok yang diperkuat, hanya balok BW 1 yang mengalami penurunan kapasitas beban, yakni sekitar 24,15% terhadap BN 1 dan sekitar 12,99% terhadap BN 2.

4. Herlan Pratikto, Rekso Ajiono (2017), melakukan penelitian tentang “Penelitian Kuat Uji Tekan Beton Dengan Memanfaatkan Limbah Beton Yang Tidak Terpakai” dengan metode peneliti melakukan metode dengan menggunakan bahan tambahan termasuk beton yang tidak digunakan. Tes benda uji dalam penelitian ini menggunakan campuran 10%, 15%, 20% dan 25%. Variasi dilakukan pada umur 7, 21, dan 28 hari dengan parameter yang digunakan hanya kuat tekan. Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan rata-rata beton pada setiap variasi adalah 10%. (22,155MPa), 15% (17,514 MPa), 20% (15,271 MPa) dan 25% (12,714 MPa). Dengan target K300 kuat tekan, hasil substitusi campuran dengan persentase kuat tekan maksimum sebesar 10% (22,155 MPa).
5. Atika Fahira, (2022), melakukan penelitian tentang “Studi Retrofit *wiremesh* diagonal pada balok yang menggunakan limbah beton” dengan metode pengujian benda uji setelah direndam selama 28 hari dimana benda uji balok berukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm dan silinder beton berukuran 10 cm x 20 cm. Hasil penelitian menunjukkan perbandingan kuat lentur balok normal sebesar 4,507 MPa dan balok limbah tanpa perkuatan sebesar 1,760 MPa, balok limbah 100% *wiremesh* sebesar 4,027 MPa. Besar persentase peningkatan kuat lentur balok normal terhadap balok limbah beton yang diperkuat *wiremesh* sebesar 4,027%. Pola retak yang terjadi antara balok normal dan balok *wiremesh* yaitu keduanya mengalami pola retak lentur dimana retak yang terjadi tegak lurus terhadap sumbu memanjang.

6. Muhammad Ifdal Ramadhan, (2022) melakukan penelitian tentang “Studi Pemanfaatan Limbah Beton Dengan Perkuatan Wiremesh Pada Kombinasi Daerah Lentur Dan Daerah Tumpuan” penelitian ini melakukan metode perkuatan dimana balok diperkuat guna dapat menahan beban dengan cara menempelkan *wiremesh* yang dilapisi *Self Compacting Concrete (SCC)* pada daerah tumpuan. Hasil penelitian menunjukkan pengujian yang dilakukan setelah perendaman selama 28 hari dimana benda uji balok berukuran 10 cm x 12 cm x 60 cm dan silinder beton berukuran 10 cm x 20 cm. . dari penelitian ini didapatkan perbandingan kuat lentur balok normal sebesar 4,240 MPa dan balok Limbah wiremesh sebesar 4,480 MPa. Besar persentase peningkatan kuat lentur balok normal terhadap balok Limbah wiremesh sebesar 5,6% Pola retak yang terjadi antara balok normal dan balok wiremesh yaitu keduanya mengalami pola retak lentur dimana retak yang terjadi tegak lurus terhadap sumbu memanjang.
7. Yanny Febry Fitriani Sofyan (2018) melakukan penelitian tentang “Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang Material Retrofit *Wiremesh* dan SCC dengan *Overlapping* Tulangan pada Sepertiga Bentangan” peneliti melakukan metode analisis terhadap perilaku lentur balok beton yang memiliki tulangan berbentuk overlapping pada sepertiga bagian tengah bentangannya. Pada penelitian ini, mereka menggabungkan penggunaan Wiremesh dengan penggunaan Self Compacting Concrete (SCC) sebagai bahan retrofit. Benda uji yang digunakan adalah balok berukuran 15 x 20 x 270 cm yang terbagi menjadi tiga variasi, yaitu: balok normal tanpa sambungan (BN), balok beton normal dengan sambungan pada sepertiga bagian tengah bentangannya (BS), dan balok dengan sambungan pada sepertiga bagian tengah bentangannya yang diperkuat dengan wiremesh dan SCC (BSW). Hasil menunjukkan bahwa terjadi kenaikan beban lentur sebesar 17,09% pada struktur yang diperkuat dengan *wiremesh* (BSW) jika dibandingkan dengan struktur tanpa penguatan (BN), serta pertambahan sebesar 32,39% jika dibandingkan dengan struktur yang diperkuat dengan material lain (BS). Selain itu, karakteristik BSW lebih terperinci dibandingkan dengan BN dan BS. Ini menggambarkan bahwa

penguatan balok menggunakan *wiremesh* dan SCC berhasil meningkatkan kemampuan balok dalam menahan beban lentur. Pola retakan pada ketiga variasi balok menunjukkan bahwa kegagalan dalam lentur terjadi pada semua balok, dengan kegagalan debonding pada balok yang diperkuat menggunakan *wiremesh* dan SCC.

BAB III

METODE PENELITIAN

III.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Fajar Makassar Jl. Prof Abdurrahman Basalamah No. 101, Karampuang, Panakkukang Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90231, Indonesia. Waktu penelitian dilakukan selama kurang lebih 2 (dua) bulan dimulai pada bulan Juli sampai dengan Agustus dari tahap persiapan sampai dengan proses pengujian.

III.2 Alat dan Bahan

III.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada pengujian balok beton:

1. Timbangan dengan kepekaan 0,1 gr dan 0,5 gr.
2. Oven (pengereng agregat) dengan peraturan suhu ($110 \pm 5^{\circ} \text{C}$).
3. Satu set saringan (ayakan) agregat dengan ukuran #3/4, #1/2, #3/8, #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200, pan.
4. Mesin penggetar saringan agregat
5. Mesin pencampur bahan beton (*Mix Concrete*)
6. Cetakan benda uji berupa balok berukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm
7. Alat pengujian *slump test* (Kerucut Abrams)
8. Mesin pengujian kuat tekan dan kuat lentur
9. Bak air, sebagai wadah untuk merendam benda uji
10. Alat bantu lainnya yang digunakan:
 - a. Talam, sebagai wadah untuk pengujian karakteristik agregat.
 - b. Cetok semen, dipakai untuk mengaduk dan memasukkan adukan beton ke dalam cetakan.
 - c. Gelas ukur kapasitas 2000 ml dan kapasitas 50 ml, sebagai penakar air.
 - d. Mistar, sebagai pengukur pada pengujian *slump* beton.
 - e. Kuas, dipakai untuk membersihkan sisa material pada peralatan.

- d. Skop, digunakan untuk memindahkan material.
- e. Palu, digunakan menghancurkan limbah beton.
- f. *Stop watch*, digunakan untuk mencatat waktu pengadukan.
- g. Ember, sebagai wadah tempat air dan sisa adukan
- h. Karung goni

III.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Agregat Kasar (Limbah Beton)
2. Agregat Halus
3. Semen *Portland*
4. Air Tawar
5. *Wiremesh* berdiameter 3mm

III.3 Pelaksanaan Penelitian

Sebagai penelitian ilmiah, sehingga penelitian ini harus dilakukan dengan sistematika yang jelas dan terstruktur dan teratur sehingga dapat diperoleh sebuah hasil yang baik sesuai dengan yang diharapkan serta dapat dipertanggungjawabkan.

III.3.1 Desain Eksperimen

Pada penelitian ini benda uji yang dibuat berbentuk balok dengan lebar 15 cm, tinggi 15 cm, dan panjang 60 cm untuk pengujian kuat lentur, dengan susunan beton yang dibentuk dari material semen, air, pasir (agregat halus), dan limbah beton (agregat kasar).

III.3.2 Tahapan Penelitian

- a. Tahap I (Studi Literatur)

Pada tahap ini dilakukan pencarian dari berbagai sumber yang tertulis, baik itu berupa jurnal, buku-buku, arsip, dan juga artikel yang dimana relevan dengan permasalahan yang akan dikaji. Informasi yang didapatkan dari studi literatur

akan dijadikan sebuah rujukan untuk memperkuat argumentasi yang akan diadakan dalam penelitian ini.

b. Tahap II (Tahap Persiapan)

Pada tahap ini dilakukan pengadaan seluruh bahan dan peralatan yang akan digunakan sehingga, seluruhnya siap. Pada tahap ini dilakukan pemecahan limbah beton yang akan dijadikan sebagai agregat kasar dan juga pembuatan cetakan benda uji dilakukan pada tahap ini agar penelitian dapat berjalan dengan lancar.

c. Tahap III (Tahap Uji Bahan)

Pada tahap ini pengujian bahan penyusun beton dilakukan agar dapat diketahui kelayakan dari bahan yang akan digunakan memenuhi syarat atau tidak.

d. Tahap IV (Tahap Pembuatan *Mix Design*)

Pada tahap ini dilakukan perencanaan pembuatan beton dari seluruh bahan penyusun beton begitu pun limbah beton yang digunakan sebagai agregat kasar.

e. Tahap V (Tahap Pengujian *Slump*)

Pada tahap ini akan dilakukan pengujian *slump test* sehingga dapat diketahui kekentalan campuran beton yang akan digunakan, dan juga sebagai pembuktian hasil *slump* dalam perancangan pembuatan campuran beton atau adukan beton.

f. Tahap VI (Tahap Pembuatan Benda Uji)

Pada tahap ini akan dilakukan pembuatan benda uji sesuai dengan campuran (*mix design*) yang telah diperhitungkan, Adapun yang akan dilakukan pada tahap ini yaitu :

- 1) Dilakukan pengecoran ke dalam cetakan berbentuk balok yang menggunakan *wiremesh* sebagai tulangan.

2) Benda uji dapat dilepaskan dari cetakan setelah berumur 1 hari (24 jam)

g. Tahap VII (Tahap *Curing* atau Perawatan Benda Uji)

Pada tahap ini benda uji akan melalui tahap perawatan yang bertujuan untuk mengetahui perkembangan dari sifat mekanik beton dalam hal kuat lentur. Perawatan dilakukan dengan perendaman benda uji dalam air tawar selama 28 hari sesuai dengan umur perendaman yang telah ditentukan.

h. Tahap VIII (Tahap Pengujian Benda Uji)

Pada tahap ini akan dilakukan pengujian balok yang diperkuat dengan *wiremesh* sebagai tulangan dengan kombinasi pada daerah lentur, pengujian yang akan dilakukan adalah pengujian kuat lentur pada umur 28 hari dengan alat *Hydraulic Concrete Beam*.

i. Tahap IX (Tahap Analisis Data dan Pembahasan)

Pada tahap ini akan dilakukan pengumpulan data dari hasil pengujian kemudian melakukan perhitungan kuat lentur balok yang menggunakan *wiremesh* sebagai tulangan dan penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar.

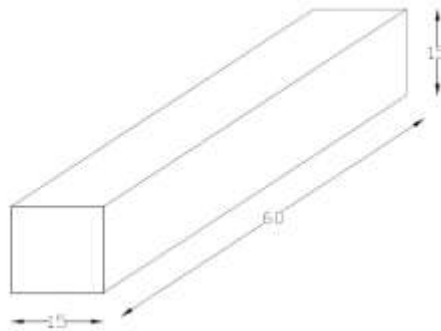
j. Tahap X (Kesimpulan)

Pada tahap ini akan dibuat kesimpulan dari hasil penelitian sesuai dengan data yang telah dihasilkan dan dikumpulkan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

III.3.3 Pembuatan Benda Uji

Pada perencanaan pembuatan benda uji penelitian ini, untuk proses *mix design* beton ekisting akan disesuaikan dengan SNI 03-4433-1997. Benda uji yang dibuat yaitu beton normal, beton dari limbah beton dengan perkuatan *wiremesh* sebagai tulangan. Adapun variasi limbah beton pada benda uji yaitu 0%, dan 100%. Benda uji yang akan dibuat pada penelitian ini berbentuk balok berdimensi (15 x 15 x 60) cm^3 sebanyak 9 sampel.

Sketsa benda uji dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar III.1 Sketsa bentuk dan ukuran benda uji

Perhitungan jumlah benda uji balok beton dengan variasi limbah beton sebagai pengganti agregat kasar dapat dilihat pada Tabel III.1 :

Tabel III.1 Jumlah benda uji balok beton

Umur 28 Hari	Sifat Mekanik	Variasi Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar			Jumlah Benda Uji
		BN 0%	BNW 0%	BLW 100%	
	Kuat Lentur	3	3	3	9
Jumlah Benda Uji					9

Keterangan :

BN : Beton Normal

BNW : Beton Normal + *Wiremesh*

BLW : Beton Limbah + *Wiremesh*

1. Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji:

- a. Menimbang seluruh bahan yang akan digunakan sesuai ketentuan *mix design* yang telah dibuat sebelumnya.
- b. Menyiapkan molen kemudian menuangkan agregat kasar (limbah beton) dan agregat halus (pasir).
- c. Kemudian selanjutnya masukan semen sesuai dengan yang telah ditentukan.
- d. Setelah dicampur dengan baik, tambahkan air sesuai dengan perencanaan *mix design* setelah diukur atau ditimbang.
- e. Setelah campuran merata, akan dilakukan uji *slump* untuk dapat mengetahui tingkat *workability* dari adukan campuran.
- f. Apabila nilai *slump* yang dihasilkan telah memenuhi syarat, campuran beton dapat dituangkan ke dalam cetakan yang telah disediakan dan sebelum dituangkan pada cetakan telah dilapisi *wiremesh* pada daerah bawah balok (daerah lentur) kemudian campuran dituangkan dan dipadatkan hingga merata
- g. Mengulang Langkah yang ke 2 sampai pada Langkah yang ke 7 untuk benda uji yang lain dengan jumlah sesuai yang telah ditentukan.
- h. Kemudian diamkan selama 1 hari (24 jam).
- i. Setelah 24 jam, cetakan dibuka kemudian masuk ke tahap perawatan (*curing*) dengan cara perendaman selama 28 hari.

III.3.4 Perawatan (*curing*)

Perawatan beton berarti menjaga kelembapan permukaan beton sejak saat adukan beton dipadatkan hingga beton cukup keras, agar reaksi hidrasi semen berjalan dengan sempurna dan menghindari retak pada beton serta menjaga kualitas beton. Setelah beton selesai dibuat selama 24 jam, cetakan di buka dan sampel beton direndam dengan air tawar hingga umur beton mencapai 28 hari. Sebelum direndam, sampel beton diberi tanda atau kode penamaan pada permukaannya. Pada umur 27 hari, beton dikeluarkan dari bak perendam dan didiamkan selama 24 jam agar beton tidak dalam keadaan basah pada saat pengujian pada umur 28 hari.

III.4 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Fajar Makassar, di antaranya pengujian karakteristik bahan yang akan digunakan, proses pembuatan benda uji balok dan pengujian kuat lentur pada balok beton.

III.4.1 Sifat Mekanik Beton (Kuat Lentur)

Pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebuah data kuat lentur benda uji balok beton daur ulang dengan menggunakan Persamaan II.1 dan Persamaan II.2 sesuai dengan patahan.(Amiruddin, 2014)

Adapun langkah-langkah untuk menguji kuat lentur beton:

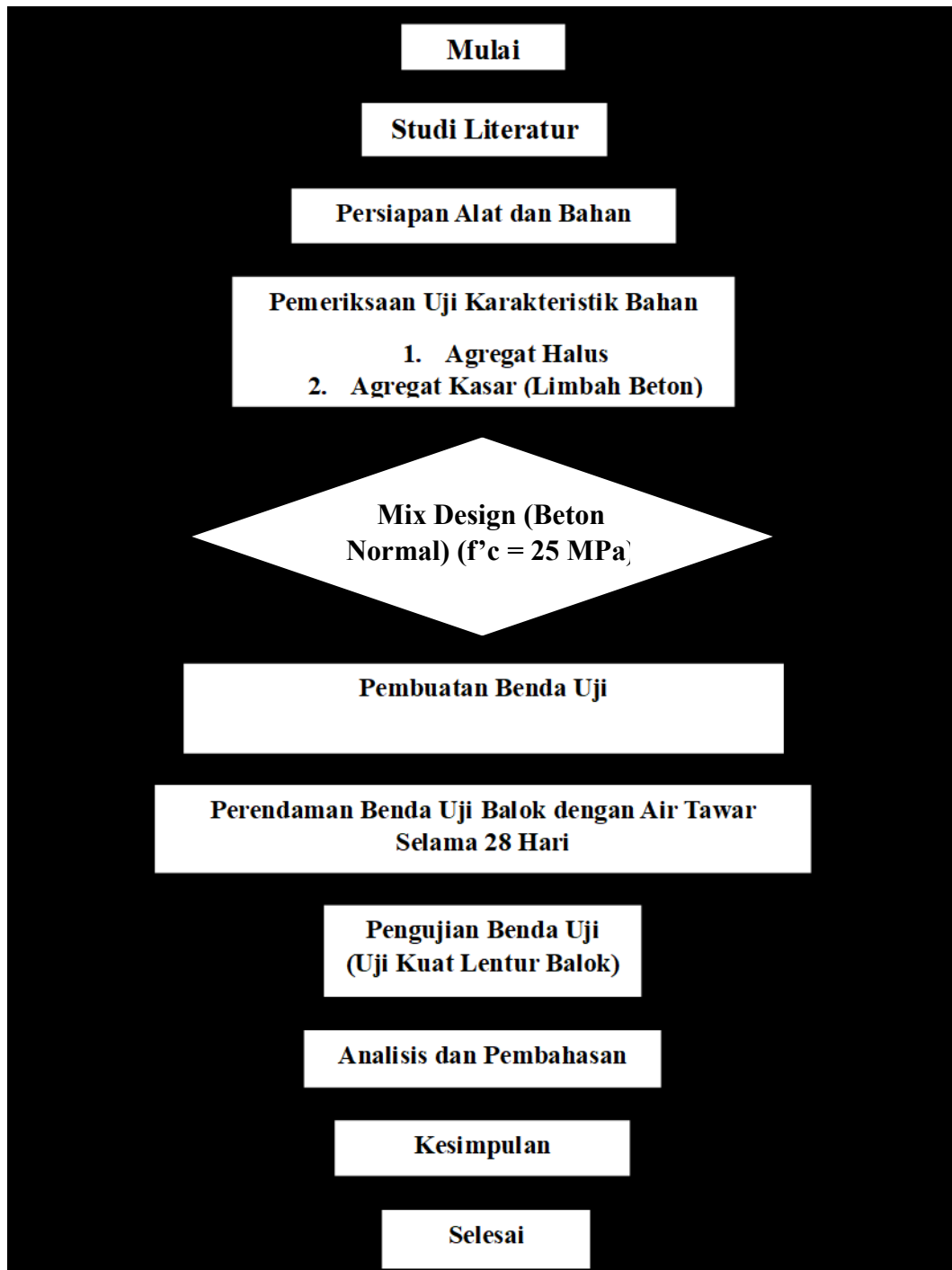
- a. Nyalakan mesin uji yang telah dipersiapkan sebelumnya kemudian tunggu selama 30 detik
- b. Letakkan benda uji pada tumpuan dan sesuaikan posisi benda uji sehingga siap untuk diuji.
- c. Atur pembebanan dengan baik agar tidak terjadi benturan.
- d. Sesuaikan katup pada posisi pembebanan dan kecepatan pembebanan pada posisi yang tepat agar jarum jam skala bergerak dengan lambat dengan kecepatan 8 kg/cm^2 per menitnya.
- e. Turunkan kecepatan pembebanan pada saat benda uji mendekati patah, ditandai dengan gerakan jarum pada skala beban yang agak lambat untuk menghindari kejutan.
- f. Ambil benda uji yang telah selesai diuji dengan menurunkan plat perletakan benda uji atau menaikkan alat pembebanannya.
- g. Pada tampang lintang patah diukur dan dicatat lebar dan tingginya dengan ketelitian 0,25 mm minimal pada 3 tempat dan kemudian diambil nilai rata-ratanya.
- h. Ukur dan catat jarak antara tampang lintang dari tumpuan luar terdekat pada 4 tempat pada bagian tarik pada arah bentang dan ambil rata-ratanya.

III.5 Teknik Analisa Data

Teknik analisa data pada penelitian yaitu analisis deskriptif, yaitu dengan memberikan gambaran data yang berbentuk analisis dan diperoleh dari hasil penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar. Variasi limbah beton yang digunakan sebesar 0% dan 100% terhadap kuat lentur balok beton yang direndam selama 28 hari. Pada hasil data penelitian ini akan dianalisis menggunakan *Microsoft Office Excel*. Data-data yang telah di analisis pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian ini yakni untuk mengetahui kuat lentur balok beton dengan agregat limbah beton yang diperkuat dengan *wiremesh* sebagai tulangan yang diletakkan pada daerah lentur balok dan juga untuk mengetahui perbandingan antara balok beton normal tanpa perkuatan *wiremesh* dengan balok limbah beton yang diperkuat dengan *wiremesh* sebagai tulangan.

III.6 Bagan Alir Penelitian

Tahap-tahap penelitian secara skematis dapat dilihat pada Gambar III.2 :



Gambar III.2 Bagan Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Komposisi Beton

IV.1.1 Pengujian Karakteristik

Pengujian sifat-sifat agregat dikerjakan di fasilitas Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Universitas Fajar. Pengujian tersebut mencakup analisis karakteristik agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), serta penggunaan limbah beton sebagai substitusi bagi agregat kasar. Pengujian karakteristik dilakukan berdasarkan pada SNI. Berikut hasil rekapitulasi pengujian karakteristik agregat tersaji dalam Tabel IV.1.

Tabel IV. 1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Halus dan Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi SNI		Hasil Pengujian		Keterangan	
		Pasir	Kerikil	Pasir	Kerikil	Pasir	Kerikil
1	Kadar Lumpur (%)	0,2 - 5	Maks 1	3,85 %	0,26	Memenuhi	Memenuhi
2	Kadar Air (%)	3%-5%	0,5 - 2	4,93 %	0,53	Memenuhi	Memenuhi
3	Berat Volume						
	a. Kondisi Lepas (Kg/Ltr)	1,4 - 1,9	1,6 - 1,9	1,73	1,63	Memenuhi	Memenuhi
	b. Kondisi Padat (Kg/Ltr)	1,4 - 1,9	1,6 - 1,9	1,87	1,9	Memenuhi	Memenuhi
4	Berat Jenis						
	a. Nyata	1,60 -	1,60 -	2,44	2,12	Memenuhi	Memenuhi

	(gr)	3,30	3,33				
	b. Dasar Kering (gr)	1,60 - 3,31	1,60 - 3,34	2,36	2,06	Memenuhi	Memenuhi
	c. Kering Permukaan (gr)	1,60 - 3,32	1,60 - 3,35	2,39	2,09	Memenuhi	Memenuhi
	d. Absorsi	0,2 - 2	Maks 4	1,28 %	1.23%	Memenuhi	Memenuhi
5	Modulus Kehalusan	2,3 - 3,1	6 - 7,1	2,88 %	7,05%	Memenuhi	Memenuhi
6	Kadar Organik	<No 3	-	No.2	-	Memenuhi	
7	Keausan (%)	-	Maks 50	-	39%	-	Memenuhi

(Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2023)

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, hasil pemeriksaan karakteristik agregat halus yang tersajikan dalam Tabel IV.1 menunjukkan bahwa agregat halus memenuhi persyaratan standar SNI karena semua hasil pengujian berada dalam rentang yang ditetapkan oleh standar untuk agregat halus.

Pada Tabel IV.1 dapat pula disimpulkan bahwa agregat kasar memenuhi standar SNI karena semua hasil pengujian karakteristik agregat berada dalam interval yang ditentukan oleh standar untuk agregat halus.

IV.1.2 Limbah Beton

Pada Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil Universitas Fajar, dilakukan pengujian karakteristik limbah beton dengan mengikuti Standar Nasional Indonesia. Hasil pengujian tersebut telah dirangkum dalam Tabel IV.2.

Tabel IV. 2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Limbah Beton

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Interval	Keterangan
1	Kadar Lumpur (%)	1%	Maks 1	Memenuhi
2	Kadar Air (%)	1,01 %	0,5 - 2	Memenuhi
3	Berat Volume			
	a. Kondisi Lepas (Kg/Ltr)	1,61	1,6 - 1,9	Memenuhi
	b. Kondisi Padat (Kg/Ltr)	1,69	1,6 - 1,9	Memenuhi
4	Berat Jenis			
	a. Nyata (gr)	2,91	1,60 - 3,33	Memenuhi
	b. Dasar Kering (gr)	1,43	1,60 - 3,34	Memenuhi
	c. Kering Permukaan (gr)	2,48	1,60 - 3,35	Memenuhi
5	Absorsi	2,01 %	Maks 4	Memenuhi
6	Modulus Kehalusan	6,21	6 - 7,1	Memenuhi
7	Keausan (%)	36,30 %	Maks 50	Memenuhi

(Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2023)

Berdasarkan Tabel IV.2 dapat ditarik kesimpulan bahwa limbah beton sebagai pengganti agregat kasar memenuhi persyaratan standar SNI karena semua hasil pengujian agregat kasar berada dalam rentang yang ditentukan oleh standar agregat.

IV.2 Mix Design

Pada penelitian ini mutu beton yang direncanakan yaitu 25 MPa. Dari hasil pemeriksaan material dan perhitungan *mix design*, komposisi agregat penyusun benda uji silinder dan balok beton dapat dilihat pada Tabel IV.3 dan Tabel IV. 4

Tabel IV. 3 *Mix design* benda uji silinder yaitu 0,00157 m³

Material	Berat Material (Kg/m ³)	Rasio Terhadap Berat Semen	Berat Untuk 1 Benda Uji (Kg)
Air	195	0,560	0,306
Semen	348,214	1,000	0,546
Pasir	773,978	2,222	1,215
Kerikil	1262,978	3,627	1,982

(Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2023)

Tabel IV. 4 *Mix design* balok beton untuk 1 benda uji yaitu 0.0135 m³

Material	Berat Material (Kg/m ³)	Rasio Terhadap Berat Semen	Berat Untuk 1 Benda Uji (Kg)
Air	195	0,560	2,6325
Semen	348,2143	1,000	4,700
Pasir	773,9786	2,222	10,448
Kerikil	1262,9786	3,627	17,047

(Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2023)

IV.3 *Slump Test*

Pengujian *slump test* dilaksanakan guna mengidentifikasi tingkat *workability* (kekentalan) dari campuran beton. *Workability* beton adalah ukuran seberapa mudah campuran tersebut dapat digunakan dalam konstruksi tanpa menyebabkan pemisahan bahan penyusun beton (*segregasi*). Tingkat kekentalan beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk kandungan air, jumlah semen, bentuk dan ukuran agregat. Dalam penelitian ini, *slump test* dilakukan satu kali untuk setiap variasi yang ada.

Tabel IV. 5 Nilai *Slump* Untuk Tiap Variasi Limbah Beton

No	Variasi Campuran Limbah Beton (%)	Test Slump (cm)	Rata-rata (cm)
1	0	10	10
2	100	10	

(Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2023)



Gambar IV. 1 Pengujian *Slump Test* (Sumber: Pengolahan Data)

IV.4 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada benda uji silinder dengan ukuran alas 10 cm dan tinggi 20 cm. Benda uji silinder merupakan benda uji beton normal yang terdiri dari 3 sampel. Benda uji tersebut merupakan sebagai pengontrol dari mutu beton yang direncanakan (*control specimen*). Alat yang digunakan untuk pengujian adalah UTM (*Universal Testing Machine*), yang berkapasitas 3000 KN, dimana benda uji posisi benda uji saat pengujian searah vertikal. Benda uji diuji hingga terjadi keretakan atau benda uji tak dapat lagi menahan beban yang diberikan, dengan cara melihat jarum yang berwarna hitam telah turun menuju angka 0 sehingga pembebanan telah mencapai nilai maksimum. Hasil pengujian benda uji silinder normal dapat dilihat pada Tabel IV.6.

Tabel IV. 6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Silinder Beton Normal (SN)

Tanggal Uji	Umur (Hari)	Berat (kg)	Luas(A) mm ²	Beban (P)		Kuat Tekan f _c = P/A (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
				(kN)	(N)		
12/08/23	28	3,362	7850	200	210000	26,751	25,052
		3,520		190	190000	24,203	
		3,525		190	190000	24,203	

(Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2023)

Pengujian yang dihasilkan pada Tabel IV. 5 tersebut dengan nilai kuat tekan rata-rata yaitu sebesar 25,052 MPa. Dari hasil tersebut menjadi bukti bahwa beton yang dibuat telah memenuhi mutu beton yang direncanakan yaitu sebesar 25 MPa.

Sebelum di uji



Sesudah di uji



Gambar IV. 2 Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Silinder Normal (SN)

IV.5 Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan pada saat balok berumur 28 hari. Pengujian kuat lentur terhadap balok normal (BN), balok normal *wiremesh* (BNW), dan balok limbah *wiremesh* 100% (BLW). Sampel tersebut berukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm.

Pengujian kuat lentur dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil Universitas Fajar Makassar pada hari Sabtu tanggal 12 Agustus 2023 dengan jumlah sampel sebanyak 9 balok, dan nilai kuat lentur yang dihasilkan masing-masing berbeda. Adapun hasil pengujian kuat lentur balok normal (BN), balok normal *wiremesh* (BNW), dan balok limbah *wiremesh* 100% (BLW100%):

Tabel IV. 7 Hasil Pengujian Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Normal, Balok Beton Normal *Wiremesh*, Balok Limbah *Wiremesh* 100%

Nama Sampel	Nomor Sampel	Panjang Bentang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Kuat Lentur		
					(KN)	(MPa)	Rata-rata (MPa)
BN 0%	1	600	150	150	16,8	2,987	2,972
	2	600	150	150	16,8	2,987	
	3	600	150	150	16,56	2,944	
BNW 0%	1	600	150	150	37,8	6,720	6,720
	2	600	150	150	33,9	6,027	
	3	600	150	150	41,7	7,413	
BLW 100%	1	600	150	150	38,0	6,756	6,773
	2	600	150	150	38,6	6,862	
	3	600	150	150	37,7	6,702	

(Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2023)

Pada benda uji berbentuk persegi Panjang dengan 600 mm, lebar 150 mm, dan ketinggian 150 mm. Benda uji diletakkan dengan posisi horizontal pada mesin perangkat pengujian kuat lentur. Pengujian yang diterapkan yakni benda uji diuji hingga retak atau patah, hingga mencapai titik maksimal di mana tidak lagi

mampu menahan beban yang diberikan. Setelah itu kekuatan lentur dari benda uji dihitung. Komposisi beton sangat mempengaruhi dampak terhadap kekuatan lentur yang dihasilkan oleh beton tersebut. Pada usia 28 hari dengan proses perendaman dalam air tawar, rata-rata kekuatan lentur yang diperoleh adalah: untuk beton normal dengan kode BN 0% memiliki nilai 2,97 MPa; beton normal dengan perkuatan *wiremesh* pada daerah lentur dengan kode sampel BNW 0% memiliki nilai 6,72 MPa dan beton limbah 100% yang diperkuat dengan *wiremesh* pada daerah lentur memiliki nilai 6,77 MPa.

Pada Tabel IV.6 dilampirkan nilai kuat lentur beton normal variasi 0% yang tanpa perkuatan *wiremesh* lebih rendah dibandingkan dengan balok normal variasi 0% dengan perkuatan *wiremesh* dan balok limbah beton 100% dengan perkuatan *wiremesh*.

Sebelum diuji

Setelah diuji



Gambar IV. 3 Pengujian Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Normal



Gambar IV. 4 Pengujian Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Normal *Wiremesh*

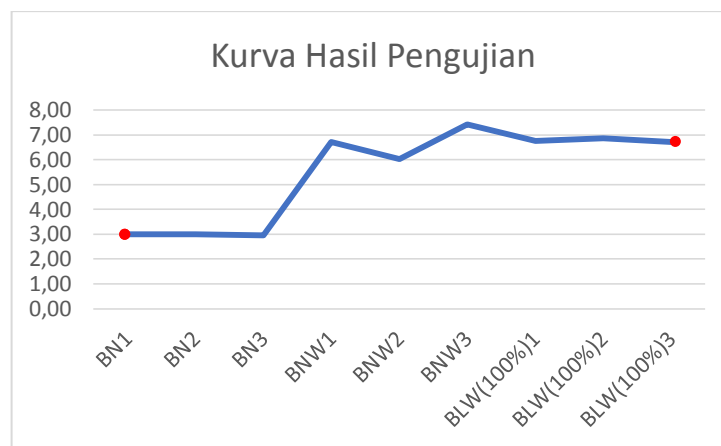


Gambar IV. 5 Pengujian Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Limbah *Wiremesh*
100%

Pada Gambar IV. 3, Gambar IV. 4 dan Gambar IV. 5 dapat dilihat jenis retakan yang telah terjadi pada balok beton normal (BN0%) yakni retak lentur (*flexural crack*) keretakan yang terjadi berada pada daerah momen lentur yang lebih tinggi dan gaya geser yang lebih rendah. Adapun arah retak yang terjadi hampir tegak lurus terhadap sumbu balok.

Hasil dari pengujian kuat lentur pada balok beton memiliki persentase peningkatan nilai kuat lentur. Hal ini dapat terjadi dikarenakan adanya perkuatan *wiremesh* pada daerah lentur balok dan juga peningkatan nilai kuat lentur pada balok yang menggunakan agregat limbah beton dengan perkuatan *wiremesh*. Adapun persentase peningkatan pada balok beton normal dengan nilai rata-rata kuat lentur senilai 2,97 MPa sedangkan pada balok beton normal dengan perkuatan *wiremesh* memiliki nilai rata-rata kuat lentur sebesar 6,72 MPa. Dari perkuatan tersebut mengalami peningkatan sebesar 126,08 % dari balok beton normal atau dapat diasumsikan nilai kuat lentur $6,72 \text{ MPa} > 2,97 \text{ MPa}$. Kemudian

untuk nilai kuat lentur rata-rata balok beton limbah variasi 100% sebesar 6,77 MPa. Persentase peningkatan pada balok beton limbah dengan perkuatan *wiremesh* pada daerah lentur terhadap balok beton normal perkuatan *wiremesh* pada daerah lentur sebesar 0.79 % dapat diasumsikan nilai kuat lentur 6,77 MPa > 6,72 MPa, peningkatan bisa terjadi disebabkan penggunaan limbah beton menjadi agregat kasar. Namun untuk rata-rata kuat lentur pada balok beton normal tanpa perkuatan *wiremesh* variasi limbah beton 0% dengan balok variasi limbah beton 100% yang diperkuat *wiremesh* pada daerah lentur mengalami peningkatan sebesar 127,87 % diasumsikan nilai kuat lentur 6,77 MPa > 2,97 MPa. Diagram kurva hasil pengujian kuat lentur dapat dilihat pada Gambar IV. 6



Gambar IV. 6 Diagram Kurva Kuat Lentur Beton Normal, Beton Normal *Wiremesh* dan Beton Limbah *Wiremesh*

IV.6 Pola Retak

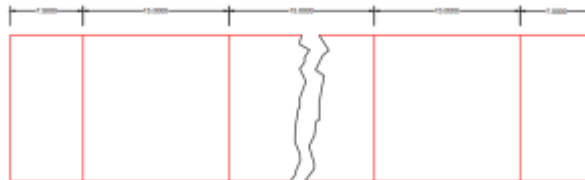
IV.6.1 Pola Retak Balok Beton Normal Variasi 0% (BN)

Keretakan pada pengujian balok beton normal mengalami retak lentur (*flexural crack*). Pola retak pada balok beton terjadi di daerah pusat (yaitu posisi tengah bentang balok), dengan retakan berjalan tegak lurus terhadap sumbu melintang balok beton. Jenis keretakan dapat dilihat pada gambar berikut:

a) Pola Retak BN1



Gambar IV. 7 Pola Retak Balok Beton Normal 1



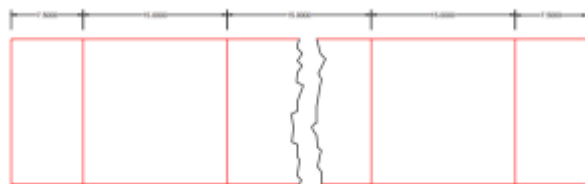
Gambar IV. 8 Sketsa Pola Retak Balok Beton Normal 1

Pola retak pada Gambar IV.7 untuk beton normal 1 adalah Retak Lentur yang dimana nilai lentur pada balok lebih besar dari nilai geser.

b) Pola Retak BN2



Gambar IV. 9 Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal 2



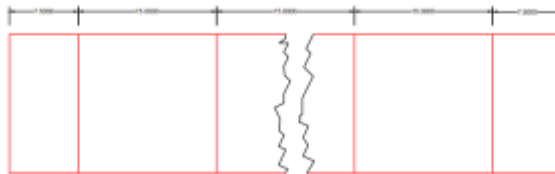
Gambar IV. 10 Sketsa Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal 2

Pola retak pada Gambar IV. 9 untuk beton normal 2 adalah Retak Lentur bentuk dari retakan yang terjadi pada balok hampir sama dengan pola retak beton normal 1 yang dimana nilai lentur lebih besar dari nilai geser.

c) Pola Retak BN3



Gambar IV. 11 Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal 3



Gambar IV. 12 Sketsa Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal 3

Hasil pengujian pada semua balok beton normal dalam penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat pola Retak Lentur. Retakan awal terjadi di daerah yang mengalami momen maksimum, yaitu pada jarak antar beban. Seiring bertambahnya beban yang diberikan pada balok, retakan di daerah pusat bentang akan semakin bertambah panjang dan lebar. Akibatnya, retakan awal akan melebar dan akhirnya menyebabkan balok beton menjadi patah atau retak.

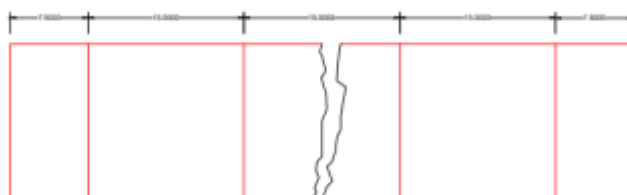
IV.6.2 Pola Retak Balok Beton Normal *Wiremesh* (BNW)

Keretakan yang terjadi pada balok beton normal dengan perkuatan *wiremesh* pada saat pengujian adalah retak lentur (*flexural crack*), yang dimana nilai lentur jauh lebih tinggi dan gaya geser yang lebih rendah.

a) Pola Retak BNW1



Gambar IV. 13 Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal Wiremesh 1



Gambar IV. 14 Sketsa Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal Wiremesh 1

Pola retak pada Gambar IV.13 untuk beton normal dengan perkuatan *wiremesh* 1 adalah Retak Lentur yang dimana nilai lentur pada balok lebih besar dari nilai geser.

b) Pola Retak BNW2



Gambar IV. 15 Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal *Wiremesh* 2



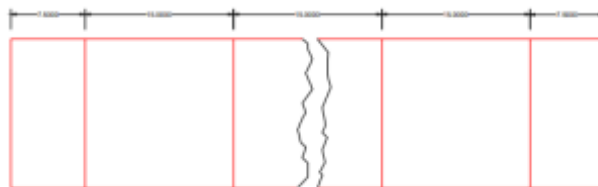
Gambar IV. 16 Sketsa Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal *Wiremesh* 2

Pola retak pada Gambar IV.15 untuk beton normal dengan perkuatan *wiremesh* 2 adalah Retak Lentur bentuk dari retakan yang terjadi pada balok hampir sama dengan pola retak beton normal *wiremesh* 1 yang dimana nilai lentur lebih besar dari nilai geser.

c) Pola Retak BNW 3



Gambar IV. 17 Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal *Wiremesh* 3



Gambar IV. 18 Sketsa Pola Retak Benda Uji Balok Beton Normal *Wiremesh* 3

Pola Retak yang terjadi pada balok beton normal dengan perkuatan *wiremesh* 3 adalah Retak Lentur dapat disimpulkan pola retak yang terjadi pada semua balok beton normal *wiremesh* adalah pola retak lentur, dengan arah rambat yang vertikal terhadap sumbu memanjang balok. Keretakan awal terjadi pada daerah momen maksimum di antara kedua beban hampir mendekati tengah bentang dari balok.

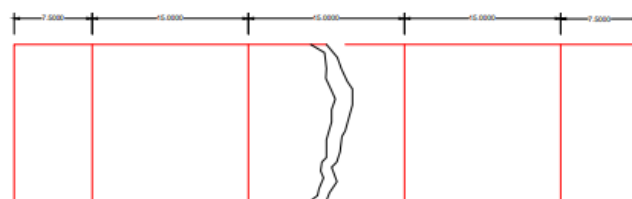
IV.6.3 Pola Retak Balok Beton Limbah *Wiremesh* 100% (BLW)

Keretakan yang muncul pada saat pengujian balok limbah beton *wiremesh* variasi 100 % adalah retak lentur yang dimana kekuatan balok tersebut lebih dominan dari pada gaya geser atau dapat diasumsikan nilai kuat lentur jauh lebih tinggi dari gaya geser.

a) Pola Retak BLW1



Gambar IV. 19 Pola Retak Benda Uji Balok Limbah Beton *Wiremesh* Variasi 100% 1



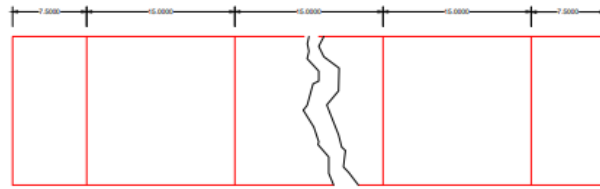
Gambar IV. 20 Sketsa Pola Retak Benda Uji Balok Limbah Beton *Wiremesh* Variasi 100% 1

Pola retak pada Gambar IV.13 untuk balok variasi limbah 100% dengan perkuatan *wiremesh* 1 adalah Retak Lentur yang dimana nilai lentur pada balok lebih besar dari nilai geser.

b) Pola Retak BLW2



Gambar IV. 21 Pola Retak Benda Uji Balok Limbah Beton *Wiremesh* Variasi 100% 2



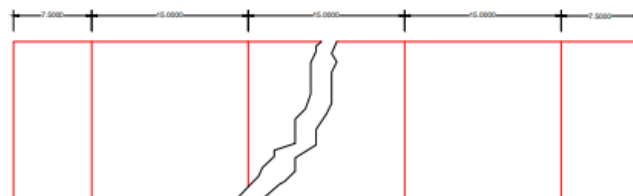
Gambar IV. 22 Sketsa Pola Retak Benda Uji Balok Limbah Beton *Wiremesh* Variasi 100% 2

Pola retak pada Gambar IV.21 untuk balok variasi limbah 100% dengan perkuatan *wiremesh* 2 adalah Retak Lentur bentuk dari retakan yang terjadi pada balok hampir sama dengan pola retak balok variasi limbah 100% 1 yang dimana nilai lentur lebih besar dari nilai geser.

c) Pola Retak BLW3



Gambar IV. 23 Pola Retak Benda Uji Balok Limbah Beton *Wiremesh* Variasi 100% 3



Gambar IV. 24 Sketsa Pola Retak Benda Uji Balok Limbah Beton *Wiremesh* Variasi 100% 3

Dari semua benda uji balok limbah beton wiremesh variasi 100% menghasilkan pola retak lentur, yang dimana retak yang terjadi tegak lurus atau vertikal. Jarak retak dari ketiga jenis balok beton (BN0%, BNW 0% dan BLW 100%) secara menyeluruh menghasilkan pola retak yang hampir sama atau diasumsikan masuk dalam kategori yang sama yaitu Retak Lentur.

BAB V

PENUTUP

V.1 Kesimpulan

Adapun hasil yang diperoleh dari pengujian penggunaan limbah beton sebagai bahan pengganti agregat kasar serta penambahan perkuatan *wiremesh* pada daerah lentur balok sehingga dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Nilai kuat lentur pada balok beton normal variasi 0% (BN0%) rata-rata kuat lentur senilai 2,97 MPa; pada balok beton normal *wiremesh* variasi 0% (BNW 0%) rata-rata nilai kuat lentur sebesar 6.72 MPa dan pada balok beton limbah variasi 100% dengan tambahan perkuatan *wiremesh* (BLW 100%) sebesar 6.77 MPa.
2. Hasil pola retak dari semua benda uji menunjukkan pola retak lentur, dengan arah rambat yang vertikal sejajar dengan sumbu panjang balok. Retakan awal terjadi pada daerah momen paling besar, yakni di antara dua beban yang mendekati tengah bentang balok. Keretakan yang terjadi pada ketiga jenis balok (BN 0%, BNW 0%, dan BLW 100%) menghasilkan jarak yang secara umum relatif serta menghasilkan pola retak yang sama.

V.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya membedakan mutu limbah beton yang digunakan sebagai agregat kasar guna untuk mengetahui pengaruh dari mutu beton.
2. Pengadaan alat-alat yang layak pakai pada laboratorium sehingga dapat memperlancar proses penelitian yang ada.
3. Perlu memperhatikan pentingnya keselamatan kerja pada laboratorium dan mengikuti prosedur laboratorium pada umumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, N., Isneini, M., & Alami, F. (2021). Studi Numerik pada Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan Hybrid Menggunakan GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) dan Wiremesh. *Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik*, 8(2), 237–246.
- Amiruddin, A. A. (2014). Metode Retrofit Dengan Wiremesh dan SCC Untuk Peningkatan Kekuatan Lentur Balok Beton Bertulang. *Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makasar*.
- Atika Fahira. (2022). *Studi Retrofit Wiremesh Diagonal Pada Balok Yang Menggunakan Limbah Beton*. Univeristas Fajar.
- Eka Putri Pertiwi. (2018). *Studi Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang Variasi Overlapping Tulangan Di Seperdua Bentangan Dengan Metode Retrofit Menggunakan Wiremesh dan SCC*. Universitas Hasanuddin.
- Henricus Priyosulistyo. (2021). *Perancangan dan Analisis Struktur Beton Bertulang 1*. UGM PRES.
- Isneini, M., Alami, F., & Surahman, R. (2020). Studi Numerik pada Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan Hybrid Menggunakan GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) dan Wiremesh. *REKAYASA: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*, 24(1), 15–21. <https://doi.org/10.23960/rekrjits.v24i1.3>
- M. Fikry Nafrisar. (2022). *Pengarruh Penggunaan Limbah Beton Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Mutu Tinggi Yang Menggunakan Perkuatan Wiremesh Pada Daerah Lapangan*. Universitas Fajar.
- Mudjanarko, S. W. (2018). *Material Konstruksi*. Narotama University Press.
- Muhammad Ifdal Ramadhan. (2022). *Studi Pemanfaatan Limbah Beton Dengan Perkuatan Wiremesh Pada Kombinasi Daerah Lentur Dan Daerah Tumpuan*. Universitas Fajar.
- Mulyono T. (2004). *Teknologi Beton*. CV Andi Publising.
- Patah, D., & Dasar, A. (2022). Pengaruh Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 10(2), 158–163.
- Putra, E. H. (2021). *Beton Sebagai Material Konstruksi*. Gre Publishing.
- Risamawarni, E. B., & Rachim, F. (2020). Pengaruh Subtitusi Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Curing Air Laut. *Indonesian Journal of Fundamental Sciences Vol*, 6(2).

- Rospati Girik Allo. (2022). *Studi Eksperimental Terhadap Balok Beton Yang Diperkuat Wiremesh Pada Kombinasi Daerah Lapangan Dan Daerah Lentur*. Universitas Fajar.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2002). SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. *Badan Standarisasi Nasional*.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2008). Cara uji slump beton. In *Badan Standarisasi Nasional*.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2011). *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Pembebanan*. SNI-03-4431-2011.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2013). *SNI 2847:2013 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. Badan Standarisasi Nasional.
- Tampubolon, S. P. (2022). *Struktur Beton I*. UKI Press.
- Tjokrodinuljo, K. (2004). Teknologi Beton, Buku Ajar. *Jurusan Teknik Sipil–Magister Teknologi Bahan Bangunan–Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Yogyakarta*.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A PENGUJIAN KARAKTERISTIK AGREGAT HALUS



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Elfrina Noro Padatu Diperiksa : Koordinator Laboratorium
Pengujian : Karakteristik Agregat Tgl. Pemeriksaan : 16 Agustus 2023
Penelitian : Tugas Akhir

Kadar Lumpur Agregat Halus (Pasir)

Hasil Percobaan I

$$A = \text{Volume Lumpur (VL)} = 10 \text{ MI}$$

$$B = \text{Volume Total (Lumpur + Pasir) (VT)} = 260 \text{ MI}$$

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{(\text{VL}) 10}{(\text{VT}) 260} \times 100\% = 3.85\%$$

Jadi nilai untuk kadar lumpur pasir adalah = 3.85% telah memenuhi syarat dalam campuran beton maksimal 0,2 % - 5 %.

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT

KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Elfrina Noro Padatu Diperiksa : Koordinator Laboratorium
Pengujian : Karakteristik Agregat Tgl. Pemeriksaan : 16 Agustus 2023
Penelitian : Tugas Akhir

Analisa Saringan Agregat Halus (Pasir)

Berat contoh kering = 1.000 gram

NOMOR SARINGAN	BERAT TERTAHAN	PERSEN TERTAHAN	Σ PERSEN TERTAHAN	PERSEN LOLOS
mm	gram	%	%	%
3/4"	0	0	0	100
1/2"	0	0	0	100
No. 3/8	0	0	0	96.38
No. 4	0	0.00	0.00	93.78
No.8	3	0.30	0.30	82.15
No. 16	7	0.70	1.00	27.78
No. 50	880	88.00	89.00	11.00
No.100	87	8.70	97.70	2.30
pan	23	2.30	100.00	0.00
Jumlah	1000	100.00	288.00	-

$$\text{Modulus Kehalusan Pasir (F)} = \frac{288,00}{100} = 2,88$$

Jadi hasil pengujian analisa saringan agregat halus adalah 2,88% dimana memenuhisyarat pencampuran beton yaitu 2,3 – 3,1.

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium


Dr. Erdawaty, ST., MT
KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Elfrina Noro Padatu Diperiksa : Koordinator Laboratorium
Pengujian : Karakteristik Agregat Tgl. Pemeriksaan : 16 Agustus 2023
Penelitian : Tugas Akhir

Kadar Air Agregat Halus (Pasir)

Kode	Keterangan	Satuan	Berat
A	Berat Talam	Gram	105
B	Berat Talam + Benda Uji	Gram	1105
C	Berat benda Uji (B - A)	Gram	1000
D	Berat Benda Uji Kering	Gram	953

$$\begin{aligned} \text{Kadar Air} &= \frac{C - D}{D} \times 100\% \\ &= \frac{1000 - 953}{953} \times 100\% \\ &= 4,93 \quad \% \end{aligned}$$

Jadi hasil pengujian kadar air agregat halus adalah 4,93 % dimana memenuhi syarat campuran beton 3% -5%.

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT

KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN PROGRAM
STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Elfrina Noro Padatu Diperiksa : Koordinator Laboratorium
Pengujian : Karakteristik Agregat Tgl. Pemeriksaan : 16 Agustus 2023
Penelitian : Tugas Akhir

Berat Volume Agregat Halus (Pasir)


Kode	Keterangan	Satuan	Padat	Gembur
A	Volume Bohler	liter	0,91609	0,91609
B	Berat Bohler Kosong	gram	4669	5150
C	Berat bohler + Benda Uji	gram	6378	6733
D	Berat Benda Uji (C - B)	gram	1709	1583
BERAT VOLUME	= $\frac{D}{A}$	kg/liter	1,87	1,73

Jadi hasil pengujian berat volume agregat halus adalah : kondisi padat =1,87 dan gembur = 1,73 dimana memenuhi syarat pencampuran beton.

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium


Dr. Erdawaty, ST., MT
KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Elfrina Noro Padatu Diperiksa : Koordinator Laboratorium
Pengujian : Karakteristik Agregat Tgl. Pemeriksaan : 16 Agustus 2023
Penelitian : Tugas Akhir

Absorpsi dan Berat Jenis Agregat Halus (Pasir)

Hasil Percobaan I

A =	Berat Picnometer	=	166	gram
B =	Berat Contoh Kondisi SSD di Udara	=	500	gram
C =	Berat Picno + air + Contoh SSD	=	956	gram
D =	Berat Talam	=	100	gram
E =	Berat Picno + air	=	665	gram
F =	Berat Setelah dioven + Talam	=	593,7	gram
G =	Berat Benda Uji Kering Oven (F-D)	=	493,7	Gram

$$\begin{aligned} \text{Apparent SG} &= \frac{G}{G + E - C} \\ &= \frac{493.7}{202.7} = 2.44 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{On dry basic} &= \frac{G}{B + E - C} \\ &= \frac{493.7}{209} = 2.362201 \end{aligned}$$

$$\text{SSD basic} = \frac{B}{\quad}$$


$$\begin{aligned}
 & B + E - C \\
 & = \frac{500}{209} = 2.39 \\
 \text{Absorption} & = \frac{B - G}{G} \times 100\% \\
 & = \frac{6.3}{493.7} \times 100\% \\
 & = 1.28 \%
 \end{aligned}$$

Jadi hasil pengujian berat jenis dan absorpsi agregat halus semua memenuhi syarat pencampuran beton.

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium



Dr. Erdawaty, ST., MT

KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Elfrina Noro Padatu Diperiksa : Koordinator Laboratorium
Pengujian : Karakteristik Agregat Tgl. Pemeriksaan : 16 Agustus 2023
Penelitian : Tugas Akhir

Kadar Organik Agregat Halus (Pasir)

Pemeriksaan pada standar warna menunjukkan warna no. 2 sehingga dapat disimpulkan bahwa kadar organik pada pasir tersebut tergolong sedang dan dapat digunakan sebagai bahan campuran beton.



Gambar hasil pengujian



Gambar standar warna

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT

KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

LAMPIRAN B PENGUJIAN KARAKTERISTIK AGREGAT KASAR



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Elfrina Noro Padatu Diperiksa : Koordinator Laboratorium
Pengujian : Karakteristik Agregat Tgl. Pemeriksaan : 16 Agustus 2023
Penelitian : Tugas Akhir

Berat Volume Agregat Kasar (Kerikil)

Kode	Keterangan	Satuan	Padat	Gembur
A	Volume Bohler	liter	0,91609	0,91609
B	Berat Bohler Kosong	gram	4798	5150
C	Berat bohler + Benda Uji	gram	6537.8	6546
D	Berat Benda Uji (C - B)	gram	1739.8	1495
BERAT VOLUME	$= \frac{D}{A}$	kg/liter	1,90	1,63

Jadi hasil pengujian berat volume agregat kasar pada kondisi padat = 1,90 dan gembur = 1,63 dimana memenuhi syarat pencampuran beton.

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT

KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Elfrina Noro Padatu Diperiksa : Koordinator Laboratorium
Pengujian : Karakteristik Agregat Tgl. Pemeriksaan : 16 Agustus 2023
Penelitian : Tugas Akhir

Analisa Saringan Agregat Kasar (Kerikil)

Berat contoh kering = 1500 gram

NOMOR SARINGAN	BERAT TERTAHAN	PERSEN TERTAHAN	Σ PERSEN TERTAHAN	PERSEN LOLOS
1 1/2	0	0.00	0.00	100.00
1	0	0.00	0.00	100.00
3/4	120	8.00	8.000	92.00
1/2	235	15.67	23.667	76.33
3/8	750	50.00	73.67	26.33
4	395	26.33	100.00	0.00
8	0	0.00	100.00	0.00
16	0	0.00	100.00	0.00
30	0	0.00	100.00	0.00
50	0	0.00	100.00	0.00
100	0	0.00	100.00	0.00
pan	0	0.00	0.00	100.00
Jumlah	1,500	100.00	705.33	-

$$\text{Modulus Kehalusan Kerikil (F)} = \frac{705,333}{100} = 7,05 \%$$

Jadi hasil pengujian analisa saringan agregat kasar adalah 7,05 % dimana memenuhi syarat pencampuran beton yaitu 6-7,1.

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium



Dr. Erdawaty, ST., MT

KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Elfrina Noro Padatu Diperiksa : Koordinator Laboratorium

Pengujian : Karakteristik Agregat Tgl. Pemeriksaan : 16 Agustus 2023

Penelitian : Tugas Akhir

Kadar Air Agregat Kasar (Kerikil)

Kode	Keterangan	Berat
A	Berat Talam (gram)	327
B	Berat Talam + Benda Uji (gram)	2827
C	Berat Benda Uji = B-A (gram)	2500
D	Berat Benda Uji Kering (gram)	2486.7


$$\begin{aligned} \text{Kadar Air} &= \frac{C - D}{D} \times 100\% \\ &= \frac{2500 - 2486.7}{2486.7} \times 100\% \\ &= 0,53 \quad \% \end{aligned}$$

Jadi pengujian kadar air agregat kasar adalah 0,53% dimana memenuhi syarat pencampuran beton 0,5% - 2%.

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium


Dr. Erdawaty, ST., MT
KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN PROGRAM
STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Elfrina Noro Padatu Diperiksa : Koordinator Laboratorium

Pengujian : Karakteristik Agregat Tgl. Pemeriksaan : 16 Agustus 2023

Penelitian : Tugas Akhir

Kadar Lumpur Agregat Kasar (Kerikil)

A. Berat Kering Sebelum dicuci = 2500 gram

B. Berat Kering Setelah dicuci = 2493.4 gram

$$\begin{aligned} \text{Kadar Lumpur} &= \frac{A - B}{A} \times 100\% \\ &= \frac{2500 - 2493.4}{2500} \times 100\% \\ &= 0,26 \quad \% \end{aligned}$$

Jadi nilai rata-rata untuk kadar lumpur kerikil adalah = 0,26% memenuhi syarat dalam campuran beton 1%.

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT

KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS
TEKNIK UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Elfrina Noro Padatu Diperiksa : Koordinator Laboratorium
Pengujian : Karakteristik Agregat Tgl. Pemeriksaan : 16 Agustus 2023
Penelitian : Tugas Akhir

Absorpsi dan Berat Jenis Agregat Kasar (Kerikil)

A. Berat kosong keranjang	=	641	gram
B. Berat Keranjang + benda uji SSD udara	=	3678	gram
C. Berat keranjang + benda uji didalam air	=	2147	gram
D. Berat keranjang dalam air	=	563	gram
E. Benda Uji Kering	=	3000	gram

$$\begin{aligned} \text{Apparent SG} &= \frac{E}{E - (C - D)} \\ &= \frac{3000}{1416} = 2.12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{On dry basic} &= \frac{E}{(B - A) - (C - D)} \\ &= \frac{3000}{1453} = 2.06 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SSD basic} &= \frac{B - A}{(B - A) - (C - D)} \\ &= \frac{3037}{1453} = 2.09 \end{aligned}$$

$$\text{Absorption} = \frac{(B - A) - E}{E} \times 100\%$$

$$= \frac{37}{3000} \times 100\%$$

$$= 1.23 \%$$

Jadi hasil pengujian berat jenis dan absorpsi agregat kasar semua memenuhi syarat pencampuran beton.

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium



Dr. Erdawaty, ST., MT

KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Elfrina Noro Padatu Diperiksa: Koordinator Laboratorium
Pengujian : Karakteristik Agregat Tgl. Pemeriksaan : 16 Agustus 2023
Penelitian : Tugas Akhir

Keausan Agregat Kasar (Kerikil)

Keterangan : Agregat kasar yang lolos saringan nomor 3/4 tertahan pada

saringan no. 1/2 & 3/4 (masing-masing 2500 Gram)

A = 5000 gr

B = 3050 gr


$$\begin{aligned} \text{Perhitungan} = \% \text{ keausan} &= \frac{(A - B) / A \times 100\%}{5000} \times 100\% \\ &= \frac{5000 - 3050}{5000} \times 100\% \\ &= 39.0\% \end{aligned}$$

Jadi nilai rata dari keausan agregat kasar adalah = 39,0% dimana memenuhi syarat pencampuran beton 50%.

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium


Dr. Erdawaty, ST., MT
KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Elfrina Noro Padatu Diperiksa : Koordinator Laboratorium
Pengujian : Karakteristik Agregat Tgl. Pemeriksaan : 16 Agustus 2023
Penelitian : Tugas Akhir

Berat Volume Agregat Kasar (Limbah Beton)

Kode	Keterangan	Satuan	Padat	Gembur
A	Volume Bohler	liter	1,28	1,28
B	Berat Bohler Kosong	gram	4595	4595
C	Berat bohler + Benda Uji	gram	6755	6650
D	Berat Benda Uji (C - B)	gram	2160	2055
BERAT VOLUME	= $\frac{D}{A}$	kg/liter	1,69	1,61

Jadi hasil pengujian berat volume limbah beton pada kondisi padat = 1,69
dimana memenuhi syarat pencampuran beton dan gembur = 1,61.

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT

KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Elfrina Noro Padatu Diperiksa : Koordinator Laboratorium
Pengujian : Karakteristik Agregat Tgl. Pemeriksaan : 16 Agustus 2023
Penelitian : Tugas Akhir

Analisa Saringan Agregat Kasar (Limbah Beton)

Berat contoh kering = 1500 gram

NOMOR SARINGAN	BERAT TERTAHAN	PERSEN TERTAHAN	Σ PERSEN TERTAHAN	PERSEN LOLOS
mm	gram	%	%	%
1	0	0,00	0,000	100,00
3/4'	610	12,16	12,164	87,84
1/2'	510	10,17	22,333	77,67
3/8'	900	17,95	40,279	59,72
4	600	11,96	52,243	47,76
8	565	11,27	63,509	36,49
16	420	8,37	71,884	28,12
30	370	7,38	79,262	20,74
50	345	6,88	86,142	13,86
100	335	6,68	92,822	7,18
pan	360	7,18	100,000	0,00
Jumlah	5015	100	620,638	

$$\text{Modulus Kehalusan Kerikil (F)} = \frac{620,638}{100} = 6,21$$

Jadi hasil pengujian analisa saringan limbah beton adalah 6,21 dimana memenuhi syarat pencampuran beton.

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT

KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Elfrina Noro Padatu Diperiksa : Koordinator Laboratorium
Pengujian : Karakteristik Agregat Tgl. Pemeriksaan : 16 Agustus 2023
Penelitian : Tugas Akhir

Kadar Air Agregat Kasar (Limbah Beton)

Kode	Keterangan	Berat
A	Berat Talam (gram)	75
B	Berat Talam + Benda Uji (gram)	2575
C	Berat Benda Uji = B-A (gram)	2500
D	Berat Benda Uji Kering (gram)	2475

$$\begin{aligned}\text{Kadar Air} &= \frac{C - D}{D} \times 100\% \\ &= \frac{2500 - 2475}{2475} \times 100\% \\ &= 1,01 \%\end{aligned}$$

Jadi pengujian kadar air limbah beton adalah 1,01 % dimana memenuhi syarat pencampuran beton

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT

KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Elfrina Noro Padatu Diperiksa : Koordinator Laboratorium
Pengujian : Karakteristik Agregat Tgl. Pemeriksaan : 16 Agustus 2023
Penelitian : Tugas Akhir

Kadar Lumpur Agregat Kasar (Limbah Beton)

A = Berat Talam	=	90	Gram
B = Berat Kering Sebelum Dicuci	=	1500	Gram
C = Berat Kering Setelah Dicuci + Talam	=	1575	Gram
D = Berat Kering Setelah Dicuci	=	1485	Gram

$$\begin{aligned}\text{Kadar Lumpur} &= \frac{B - D}{B} \times 100\% \\ &= \frac{1500 - 1485}{1500} \times 100\% \\ &= \frac{15}{1500} \times 100\% \\ &= 1\%\end{aligned}$$

Jadi nilai rata-rata untuk kadar lumpur limbah beton adalah = 1 % memenuhi syarat dalam campuran beton.

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT

KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Elfrina Noro Padatu Diperiksa : Koordinator Laboratorium
Pengujian : Karakteristik Agregat Tgl. Pemeriksaan : 16 Agustus 2023
Penelitian : Tugas Akhir

Absorpsi dan Berat Jenis Agregat Kasar (Limbah Beton)

A =	Berat Kosong Keranjang	=	540	gram
B =	Berat Keranjang + Benda Uji SSD Udara	=	3590	gram
C =	Berat Keranjang + Benda Uji didalam air	=	2310	gram
D =	Berat Keranjang Dalam Air	=	490	gram
E =	Berat Benda Uji Kering Oven	=	2990	gram

• Apparent $= \frac{E}{E - C - D}$

SG $= \frac{E - C - D}{2990}$

$$= \frac{2990 - 2310 - 490}{2990}$$
$$= \frac{1170}{2990}$$
$$= 2,91 \text{ gram}$$

• On Dry Basic $= \frac{E}{B - A - C - D}$

$$= \frac{2990}{3590 - 540 - 2310 - 540}$$
$$= \frac{2990}{1230}$$
$$= 2,43 \text{ Gram}$$

• SSD Basic $= \frac{B - A}{B - A - C - D}$

$$= \frac{3590 - 540}{3590 - 540 - 2310 - 490}$$
$$= \frac{2990}{1230}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,48 \text{ Gram} \\
 \bullet \text{ Absorption} &= \frac{(B - A) - E}{E} \times 100\% \\
 &= \frac{3590 - 540}{2990} \times 100\% \\
 &= \frac{60}{2990} \times 100\% \\
 &= 2,01 \text{ Gram}
 \end{aligned}$$

Jadi hasil pengujian berat jenis limbah beton semua memenuhi syarat pencampuran beton.

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium



Dr. Erdawaty, ST., MT

KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Elfrina Noro Padatu Diperiksa : Koordinator Laboratorium
Pengujian : Karakteristik Agregat Tgl. Pemeriksaan : 16 Agustus 2023
Penelitian : Tugas Akhir

Keausan Agregat Kasar (Limbah Beton)

Keterangan : -Agregat kasar yang lolos saringan nomor 3/4 tertahan pada saringan no. 1/2 & 3/8 (masing-masing 3.000 gram)

A = 5000 gr

B = 3185 gr

$$\text{Perhitungan} = \% \text{ keausan} = \frac{5000 - 3185}{5000} \times 100\%$$

$$= 36.3\%$$

Perhitungan keausan limbah beton adalah = 36.3% dimana memenuhi syarat pencampuran beton.

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

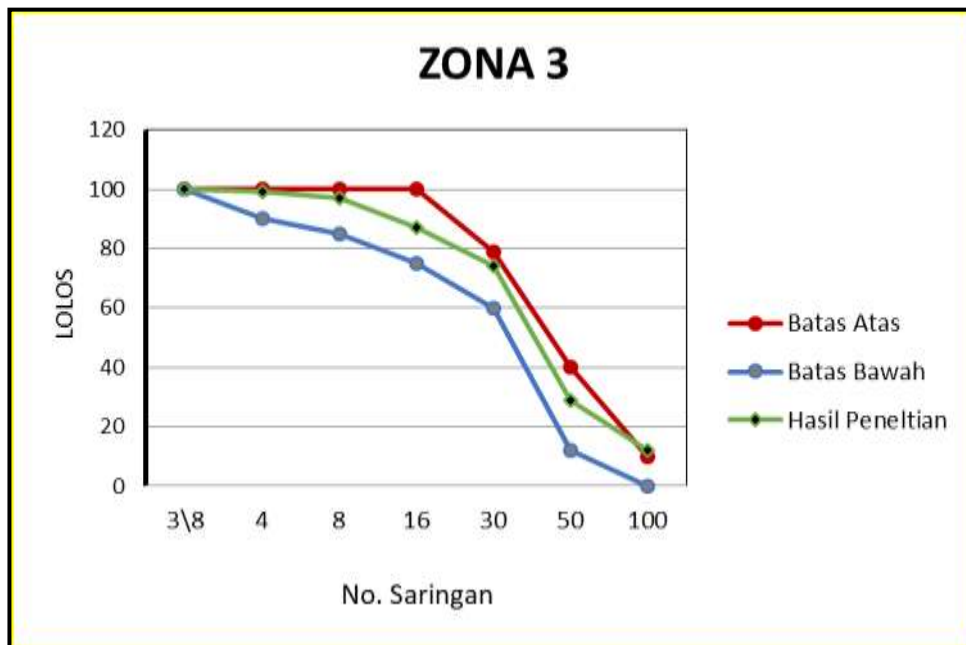
Dr. Erdawaty, ST., MT

KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

LAMPIRAN C BATAS ZONA AGREGAT HALUS DAN AGREGAT KASAR

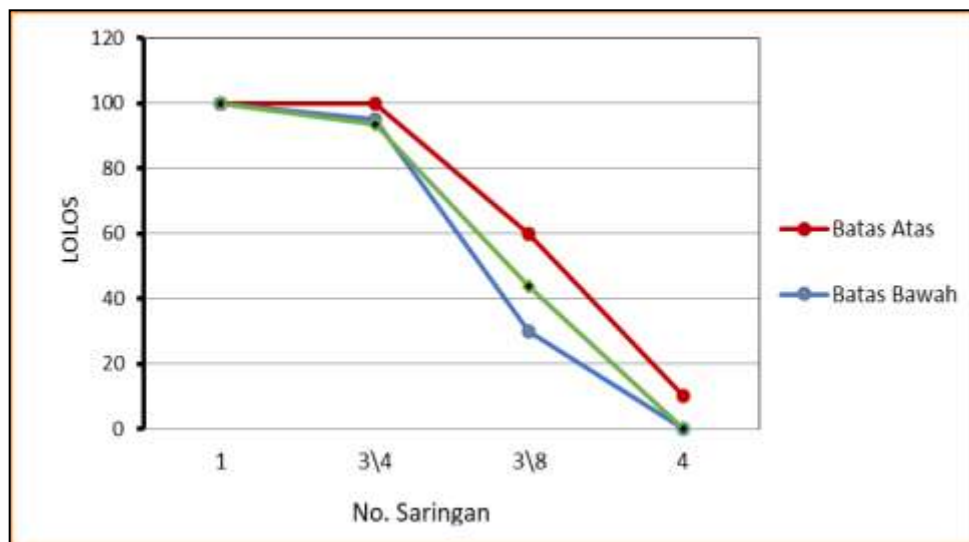
1. Agregat halus

NOMOR	Hasil Penelitian	Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4	
		Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas
mm									
1									
3/4									
3/8	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	99,00	90	100	90	100	90	100	95	100
8	97,00	60	95	75	100	85	100	95	100
16	87,00	30	70	55	90	75	100	90	100
30	74,00	15	34	35	59	60	79	80	100
50	29,00	5	20	8	30	12	40	15	50
100	12,00	0	10	0	10	0	10	0	15
pan	2,00								
Jumlah									



2. Agregat kasar

NOMOR	Hasil Penelitian	Ukuran max 10 mm		Ukuran max 20 mm		Ukuran max 40 mm	
		Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas
SARINGAN						100	100
mm							
1	100,00	100	100	100	100	95	100
3/4	93,67	100	100	95	100	35	70
3/8	43,67	50	85	30	60	10	40
4	0,00	0	10	0	10	0	5
8							
16							
30							
50							
100							
pan							
Jumlah							



3. Penggabungan Agregat

Modulus halus butir agregat dari campuran pasir dan kerikil untuk bahan pembuat beton berkisar antara 5,0 – 6,5 (Kardiyono

Tjokrodimuljo 1996:26). Modulus halus butir campuran direncanakan sebesar 5,2 maka dapat dihitung:

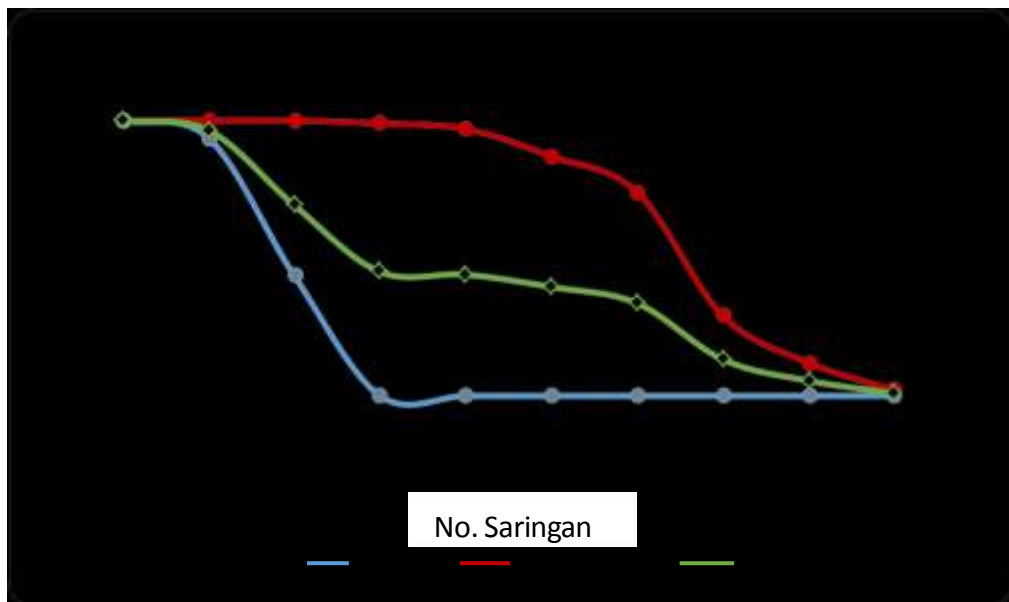
$$w = \frac{K - C}{C - P} \times \frac{X}{100\%}$$

$$= \frac{6,63 - 5,2}{5,2 - 3,00} \times 100 = 65\%$$

Berat pasir terhadap kerikil sebesar 54% atau dapat dikatakan perbandingan 54:100 atau 1:1,8

$$\text{Berat pasir} = \frac{1}{2,2} \times 100 = 45\%$$

$$\text{Berat kerikil} = \frac{1,2}{2,2} \times 100 = 55\%$$



Nomor Saringan mm	Persentase lolos (%)		Pasir X 45%	Kerikil X 55%	Agregat Gabungan
	Pasir	Kerikil			
1	100	100,00	45,5	54,5	100,0
0,75	100	93,67	45,5	51,1	96,5
0,375	100	43,67	45,5	23,8	69,3
4	99,00	0,00	45,0	0,0	45,0
8	97,00	0,00	44,1	0,0	44,1
16	87,00	0,00	39,5	0,0	39,5
30	74,00	0,00	33,6	0,0	33,6
50	29,00	0,00	13,2	0,0	13,2
100	12,00	0,00	5,5	0,0	5,5
pan	2,00	0,00	0,9	0,0	0,9
Jumlah	700,00	237,33	318,18	129,45	447,64

LAMPIRAN D MIX DESIGN BALOK

Rencana mutu beton	= 25 MPa
Ukuran maksimum agregat	= 20 mm
Berat jenis semen PCC	= 4,700
Berat jenis spesifik SSD pasir	= 10,448
Berat jenis spesifik SSD kerikil	= 17,047
Volume balok (15 x 15 x 60)	= 0,0135 m ³
Faktor air semen	= 0,56

1. Kebutuhan air

Penetapan jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat, jenis agregat, dan slump yang diinginkan ditentukan yaitu sebanyak 195 liter.

Berat ukur maks Krikil (mm)	Jenis batuan	Slump (mm)			
		0 - 10	10 - 30	30 - 60	60 -180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

2. Penetapan kadar air semen

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar semen} &= \frac{\text{Kadar Air Bebas}}{\text{Faktor Air Semen}} \\
 &= \frac{195.000}{0.56} \\
 &= 348,214 \text{ kg/m}^3 \text{ beton}
 \end{aligned}$$

3. Kebutuhan agregat campuran

$$\begin{aligned}\text{Volume total agregat} &= 1000 - \frac{\text{Kadar semen}}{\text{Bj. Semen}} - \text{kadar air} \\ &= 1000 - \frac{348,214}{4,700} - 195 \text{ kg/m}^3 \\ &= 730,911 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

4. Volume masing- masing agregat

$$\begin{aligned}\text{Volume kerikil} &= 50\% \times \text{vol. total agregat} \\ &= 50\% \times 730,911 \text{ kg/m}^3 \\ &= 365,455 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume pasir} &= 50\% \times \text{vol. total agregat} \\ &= 50\% \times 730,911 \text{ kg/m}^3 \\ &= 365,455 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

5. Berat masing-masing agregat

$$\begin{aligned}\text{Berat pasir} &= \text{volume pasir} \times \text{Bj. pasir} \\ &= 365,455 \times 10,440 \\ &= 3.815,350 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat kerikil} &= \text{volume kerikil} \times \text{Bj. kerikil} \\ &= 365,455 \times 17,047 \\ &= 6.229,911 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah} &= \text{berat pasir} + \text{berat kerikil} \\ &= 3.815,350 \text{ kg/m}^3 + 6.229,911 \text{ kg/m}^3 \\ &= 10.045,261 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

6. Rasio terhadap jumlah semen

$$\begin{aligned}\text{Air} &= \frac{\text{Berat Air}}{\text{Berat Semen}} \\ &= \frac{195}{348,214} \\ &= 0,56\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Semen} &= \frac{\text{Berat semen}}{\text{Berat semen}} \\ &= \frac{348,214}{348,214} \\ &= 1,000\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pasir} &= \frac{\text{Berat pasir}}{\text{Berat semen}} \\ &= \frac{773,978}{348,214} \\ &= 2,222\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kerikil} &= \frac{\text{Berat kerikil}}{\text{Berat semen}} \\ &= \frac{1262,9786}{348,214} \\ &= 3,627\end{aligned}$$

7. Berat material untuk 1 sampel beton

Berat material untuk 1 sampel balok beton = $V_{\text{blk}} \times \text{nilai susut beton} \times \text{berta material}$

$$\begin{aligned}V_{\text{ balok}} &= p \times l \times t \\ &= 0,6 \times 0,15 \times 0,15 \\ &= 0,0135 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Air} &= V_{\text{ blk}} \times \text{nilai susut beton} \times \text{berat material air} \\ &= 0,0135 \text{ m}^3 \times 1,2 \times 195 \\ &= 3,159\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Semen} &= V_{\text{ blk}} \times \text{nilai susut beton} \times \text{berat material semen} \\ &= 0,0135 \text{ m}^3 \times 1,2 \times 348,214 \\ &= 5,641\end{aligned}$$

$$\text{Pasir} = V_{\text{ blk}} \times \text{nilai susut beton} \times \text{berat material pasir}$$

$$= 0,0135 \text{ m}^3 \times 1,2 \times 773,9786$$

$$= 12,538$$

Kerikil

$$= V \text{ blk} \times \text{nilai susut beton} \times \text{berat material kerikil}$$

$$= 0,0135 \text{ m}^3 \times 1,2 \times 1262,9786$$

$$= 20,460$$

Tabel *mix design* untuk balok beton

Material	Berat Material (Kg/m ³)	Rasio Terhadap Berat Semen	Berat Untuk 1 Benda Uji (Kg)
Air	195	0,560	2,6325
Semen	348,2143	1,000	4,700
Pasir	773,9786	2,222	10,448
Kerikil	1262,9786	3,627	17,047

Tabel *mix design* untuk silinder

Material	Berat Material (Kg/m ³)	Rasio Terhadap Berat Semen	Berat Untuk 1 Benda Uji (Kg)
Air	195	0,560	0,30615
Semen	348,2143	1,000	0,5466
Pasir	773,9786	2,222	1,2154
Kerikil	1262,9786	3,627	1,9826

LAMPIRAN E PERHITUNGAN PENGUJIAN

1. Kuat Tekan

Tabel hasil pengujian kuat tekan silinder normal

Tangga Uji	Umur (Hari)	Berat (kg)	Luas(A) (mm ²)	Beban (P)		Kuat Tekan f ['] c = P/A (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
				(kN)	(N)		
19/09/22	28	3,362	7850	200	210000	26,751	25,052
		3,220		190	190000	24,203	
		3,220		190	190000	24,203	

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

Dimana :

f[']c = Kuat tekan (Mpa)

P = Beban tekan (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

a. Perhitungan Hasil Kuat Tekan Silinder Beton Normal (SN1)

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times (100^2) \text{ mm} \\ &= 7850 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= 210 \text{ kN} \quad (1 \text{ kN} = 1000 \text{ N}) \\ &= 210 \times 1000 \\ &= 210000 \text{ N} \end{aligned}$$

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

$$= \frac{210000 \text{ N}}{7850 \text{ mm}^2}$$

$$= 26,751 \text{ N/mm}^2 \approx 26,751 \text{ MPa}$$

b. Perhitungan Hasil Kuat Tekan Silinder Beton Normal (SN2)

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times (100^2) \text{ mm} \\ &= 7850 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= 190 \text{ kN} \quad (1 \text{ kN} = 1000 \text{ N}) \\ &= 190 \times 1000 \\ &= 190000 \text{ N} \end{aligned}$$

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

$$= \frac{190000 \text{ N}}{7850 \text{ mm}^2}$$

$$= 24,203 \text{ N/mm}^2 \approx 24,203 \text{ MPa}$$

c. Perhitungan Hasil Kuat Tekan Silinder Beton Normal (SN3)

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times (100^2) \text{ mm} \\ &= 7850 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= 190 \text{ kN} \quad (1 \text{ kN} = 1000 \text{ N}) \\ &= 190 \times 1000 \\ &= 190000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$f'_c = \frac{P}{A} = \frac{190000 \text{ N}}{7850 \text{ mm}^2}$$

$$= 24,203 \text{ N/mm}^2 \approx 24,203 \text{ MPa}$$

2. Kuat Lentur

Tabel hasil pengujian kuat lentur benda uji balok beton normal

Tanggal Pengujian	Nomor Sampel	Kuat Lentur		
		Beban (P) (KN)	(Mpa)	Rata-rata (Mpa)
12/8/2023	BN1	16.8	2.987	2.973
12/8/2023	BN2	16.8	2.987	
12/8/2023	BN3	16.56	2.944	

$$\text{Rumus : } \sigma = \frac{P.L}{b.h^2}$$

Keterangan :

σ : kuat lentur benda uji (MPa)

P : beban pada waktu lentur (KN)

L : jarak (bentang) antara 2 (dua) garis perletakan (mm)

b : lebar penampang lintang patah arah horizontal (mm)

h : tinggi penampang lintang patah arah vertical (mm)

a. Perhitungan kuat lentur untuk balok beton normal (BN1)

$$\begin{aligned} P &= 16,8 \text{ KN} \\ &= 16,8 \times 1000 \text{ N} \\ &= 16.800 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{P.L}{b.h^2}$$

$$\sigma = \frac{16.800 \text{ N} \times 600 \text{ mm}}{150 \text{ mm} \times (150 \text{ mm})^2}$$

$$= \frac{10.080.000 \text{ Nmm}^2}{3.375.000 \text{ mm}^3}$$

$$= 2.987 \text{ N/mm}^2 \approx 2.987 \text{ MPa}$$

b. Perhitungan kuat lentur untuk balok beton normal (BN2)

$$P = 16,8 \text{ KN}$$

$$= 16,8 \times 1000 \text{ N}$$

$$= 16.800 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{P.L}{b.h^2}$$

$$\sigma = \frac{16.800 \text{ N} \times 600 \text{ mm}}{150 \text{ mm} \times (150)\text{mm}^2}$$

$$= \frac{10.080.000 \text{ Nmm}^2}{3.375.000 \text{ mm}^3}$$

$$= 2.986 \text{ N/mm}^2 \approx 2.986 \text{ MPa}$$

c. Perhitungan kuat lentur untuk balok beton normal (BN3)

$$P = 16,56 \text{ KN}$$

$$= 16,56 \times 1000 \text{ N}$$

$$= 16.560 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{P.L}{b.h^2}$$

$$\sigma = \frac{16.560 \text{ N} \times 600 \text{ mm}}{150 \text{ mm} \times (150)\text{mm}^2}$$

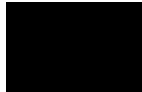
$$= \frac{9.935.000 \text{ Nmm}^2}{3.375.000 \text{ mm}^3}$$

$$= 2.944 \text{ N/mm}^2 \approx 2.944 \text{ MPa}$$

Tabel hasil pengujian kuat lentur benda uji balok beton normal *wiremesh*

Tanggal Pengujian	Nomor Sampel	Kuat Lentur		
		Beban (P) (KN)	(Mpa)	Rata-rata (Mpa)
12/8/2023	BNW1	37.8	6.720	6.72
12/8/2023	BNW2	33.9	6.027	
12/8/2023	BNW3	41.7	7.413	

Rumus :



Keterangan :

σ : kuat lentur benda uji (MPa)

P : beban pada waktu lentur (KN)

L : jarak (bentang) antara 2 (dua) garis perletakan (mm)

b : lebar penampang lintang patah arah horizontal (mm)

h : tinggi penampang lintang patah arah vertical (mm)

a. Perhitungan kuat lentur untuk balok beton normal (BNW1)

$$\begin{aligned}
 P &= 37.8 \text{ KN} \\
 &= 37.8 \times 1000 \text{ N} \\
 &= 37.800 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{P.L}{b.h^2}$$

$$\sigma = \frac{37.800 \text{ N} \times 600 \text{ mm}}{150 \text{ mm} \times (150) \text{ mm}^2}$$

$$= \frac{22.680.000 \text{ Nmm}^2}{3.375.000 \text{ mm}^3}$$

$$= 6.720 \text{ N/mm}^2 \approx 6.720 \text{ MPa}$$

- b. Perhitungan kuat lentur untuk balok beton normal (BNW1)

$$\begin{aligned} P &= 33.9 \text{ KN} \\ &= 33.9 \times 1000 \text{ N} \\ &= 33.900 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{P.L}{b.h^2}$$

$$\sigma = \frac{33.900 \text{ N} \times 600 \text{ mm}}{150 \text{ mm} \times (150) \text{ mm}^2}$$

$$= \frac{20.340.000 \text{ Nmm}^2}{3.375.000 \text{ mm}^3}$$

$$= 6.027 \text{ N/mm}^2 \approx 6.027 \text{ MPa}$$

- c. Perhitungan kuat lentur untuk balok beton normal (BNW1)

$$\begin{aligned} P &= 41.7 \text{ KN} \\ &= 41.7 \times 1000 \text{ N} \\ &= 41.700 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{P.L}{b.h^2}$$

$$\sigma = \frac{41.700 \text{ N} \times 600 \text{ mm}}{150 \text{ mm} \times (150) \text{ mm}^2}$$

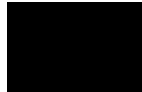
$$= \frac{25.020.000 \text{ Nmm}^2}{3.375.000 \text{ mm}^3}$$

$$= 7.413 \text{ N/mm}^2 \approx 7.413 \text{ MPa}$$

Tabel hasil pengujian kuat lentur benda uji balok beton limbah *wiremesh*

Tanggal Pengujian	Nomor Sampel	Kuat Lentur		
		Beban (P) (KN)	(MPa)	Rata-rata (MPa)
12/8/2023	BLW1	38,0	6,756	6,77
12/8/2023	BLW2	38,6	6,862	
12/8/2023	BLW3	37,7	6,702	

Rumus :



Keterangan :

σ : kuat lentur benda uji (MPa)

P : beban pada waktu lentur (KN)

L : jarak (bentang) antara 2 (dua) garis perletakan (mm)

b : lebar penampang lintang patah arah horizontal (mm)

h : tinggi penampang lintang patah arah vertical (mm)

a. Perhitungan kuat lentur untuk balok beton limbah 100% (BLW1)

$$\begin{aligned}
 P &= 38.0 \text{ KN} \\
 &= 38.0 \times 1000 \text{ N} \\
 &= 38.000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{P.L}{b.h^2}$$

$$\sigma = \frac{38.000 \text{ N} \times 600 \text{ mm}}{150 \text{ mm} \times (150 \text{ mm})^2}$$

$$= \frac{22.800.000 \text{ Nmm}^2}{3.375.000 \text{ mm}^3}$$

$$= 6.756 \text{ N/mm}^2 \approx 6.756 \text{ MPa}$$

- b. Perhitungan kuat lentur untuk balok beton limbah 100% (BLW2)

$$\begin{aligned} P &= 38.6 \text{ KN} \\ &= 38.6 \times 1000 \text{ N} \\ &= 38.600 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{P.L}{b.h^2}$$

$$\sigma = \frac{38.600 \text{ N} \times 600 \text{ mm}}{150 \text{ mm} \times (150) \text{ mm}^2}$$

$$= \frac{23.160.000 \text{ Nmm}^2}{3.375.000 \text{ mm}^3}$$

$$= 6.862 \text{ N/mm}^2 \approx 6.862 \text{ MPa}$$

- c. Perhitungan kuat lentur untuk balok beton limbah 100% (BLW3)

$$\begin{aligned} P &= 37.7 \text{ KN} \\ &= 37.7 \times 1000 \text{ N} \\ &= 38.600 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{P.L}{b.h^2}$$

$$\sigma = \frac{38.600 \text{ N} \times 600 \text{ mm}}{150 \text{ mm} \times (150) \text{ mm}^2}$$

$$= \frac{23.160.000 \text{ Nmm}^2}{3.375.000 \text{ mm}^3}$$

$$= 6.862 \text{ N/mm}^2 \approx 6.862 \text{ MPa}$$

LAMPIRAN F DOKUMENTASI PENELITIAN

1. Proses penghancuran limbah beton



2. Pengujian karakterteristik agregat



3. Proses mencuci dan menjemur agregat



4. Proses pemotongan *wiremesh*



5. Proses perakitan bekisting



6. Proses penyaringan agregat



7. Proses penimbangan agregat



8. Proses pencampuran dan uji slump



11. Pengujian kuat lentur









