

## **TUGAS AKHIR**

# **PERBANDINGAN PENGARUH KOROSI TULANGAN BASALT DAN TULANGAN KONVENSIONAL TERHADAP KINERJA LENTUR BALOK BETON BERTULANG**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Hanif Fauzan Nabil**

**19511111**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2024**

## TUGAS AKHIR

# PERBANDINGAN PENGARUH KOROSI TULANGAN BASALT DAN TULANGAN KONVENSIONAL TERHADAP KINERJA LENTUR BALOK BETON BERTULANG (COMPARISON OF THE INFLUENCE OF CORROSION OF BASALT REINFORCEMENT AND CONVENTIONAL REINFORCEMENT ON THE FLEXIBLE PERFORMANCE OF REINFORCED CONCRETE BEAM)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

Disusun oleh

**Hanif Fauzan Nabil**  
19511111

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

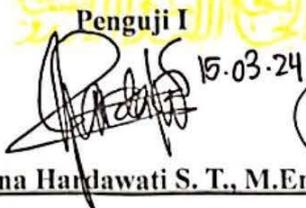
Diuji Pada Tanggal

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing  

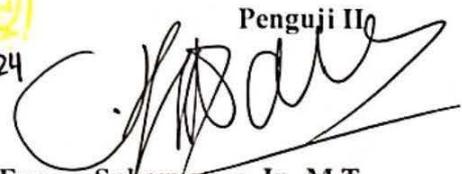

Jafar S. T., MURP., M.T.

NIK : 185111305

Penguji I  
  
15.03.24

Astriaana Hardawati S. T., M.Eng.

NIK : 165111301

Penguji II  


Suharvatmo, Ir., M.T.

NIK : 865110201

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil





E. Yumaha Muntafi S.T., M.T., Ph.D.Eng

NIK : 095110101

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 06 Maret 2024

Yang membuat pernyataan

A handwritten signature in black ink is written over a yellow and red 10,000 Rupiah stamp. The stamp features the number '10000' in large red digits and the words 'SERBUPAN', 'METERAL', and 'TEMPEK' in smaller text. A unique alphanumeric code 'CBE7EALX041093847' is printed at the bottom of the stamp.

Hanif Fauzan Nabil

(19511111)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kepada kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal tugas akhir ini dengan judul “Perbandingan Pengaruh Korosi Tulangan Basalt dan Tulangan Konvensional Pada Balok Beton Bertulang Terhadap Kinerja Lentur”.

Selama penyusunan proposal tugas akhir ini penulis tidak luput dari berbagai kendala. Dari kendala-kendala yang penulis terima, dapat teratasi berkat bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada pihak-pihak berikut :

1. Allah S.W.T yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayahnya serta memberikan umur panjang sehingga dapat melaksanakan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Jafar, S.T., M.T., MURP., selaku dosen pembimbing proposal tugas akhir saya yang selalu sabar membimbing saya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Malik Mushthofa, S.T., M.Eng, selaku dosen pembimbing akademik saya.
4. Ibu Dr. Eng. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., selaku ketua Program Studi Teknik Sipil.
5. Seluruh dosen, pengajar, laboran, asisten serta staff di Universitas Islam Indonesia.
6. Bapak Sugiya, S.Sos. dan Ibu Zulis Farida Burhani, S.Pd., selaku orang tua penulis yang selalu memberikan doa, nasihat, semangat, fasilitas, dan dukungan lainnya yang tidak bisa disebutka satu-persatu dalam proses penyusunan dan penyelesaian tugas akhir ini.
7. Desty Rahmawati, S.M., yang selalu setia memberikan waktu, doa, semangat dan dukungan dalam proses penyusunan dan penyelesaian tugas akhir ini.

8. Sahabat-sahabat penulis yang telah membantu prosesi penelitian dari awal hingga akhir.
9. Semua pihak yang terlibat dalam proses penyusunan dan penyelesaian tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis sangat menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu penulis memohon maaf dan berharap Tugas Akhir ini akan bermanfaat bagi penulis dan pembaca. Untuk kedepannya semoga kita dapat meraih cita-cita yang diinginkan melalui jalan yang dipermudah dan selalu dalam Ridha-nya.

*Wassalamualaikum warahmatullah wabarakatuh.*

Yogyakarta, 06 Maret 2024



Hanif Fauzan Nabil

(19511111)

## ABSTRAK

Pembangunan pada wilayah perairan khususnya perairan laut memerlukan bahan material bangunan yang tahan terhadap korosi akibat air laut. Beton bertulang menjadi elemen yang sangat penting untuk struktur sebuah bangunan, namun material dari beton bertulang yaitu baja tulangan memiliki kekurangan dapat dengan mudah mengalami korosi. Sedangkan pada umumnya tulangan baja sering digunakan di dunia konstruksi. Penggantian tulangan baja diperlukan guna meminimalisir terjadinya korosi dan dapat digantikan dengan tulangan serat kaca (GFRP), tulangan serat karbon (CFRP), dan tulangan serat basalt (BFR). Tulangan basalt memiliki kekuatan yang memungkinkan untuk dijadikan sebagai salah satu material konstruksi yaitu, tahan terhadap potensi kebakaran, tahan terhadap radiasi, dan tahan terhadap korosi. Melihat peluang tulangan basalt untuk menggantikan konsistensi tulangan baja, penulis tertarik membandingkan pengaruh korosi tulangan basalt dan tulangan baja terhadap kinerja lentur balok beton bertulang.

Pengkorosian tulangan dilaksanakan menggunakan media air laut dengan durasi 28 hari. Penelitian ini meninjau kinerja lentur balok seperti momen maksimum dan defleksi melalui pengujian lentur dengan satu titik pembebanan. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan pedoman SNI 03-2823-1992. Benda uji yang digunakan memiliki dimensi 1040×150×300 mm dengan mutu kuat tekan rencana 22 MPa. Penelitian ini memiliki 4 variasi tulangan terdiri dari tulangan basalt korosi, tulangan basalt tidak korosi, tulangan baja konvensional korosi dan tulangan baja konvensional tanpa korosi.

Penelitian ini menghasilkan nilai penurunan momen maksimum pada balok dengan tulangan basalt korosi sebesar 4,811 % dan balok dengan tulangan baja korosi sebesar 9,425 %. Untuk defleksinya balok dengan tulangan basalt korosi mengalami penurunan sebesar 36,584 % sedangkan balok dengan tulangan baja korosi mengalami penurunan nilai lendutan sebesar 42,404 %. Berdasarkan momen maksimum dan defleksinya, balok tulangan basalt dapat menggantikan balok tulangan baja pada kondisi terkorosi.

**Kata kunci :** Balok beton bertulang, kinerja lentur, korosi tulangan, tulangan basalt, tulangan baja.

## **ABSTRACT**

*Development in maritime areas, especially marine waters, necessitates construction materials resistant to corrosion from seawater. Reinforced concrete is a crucial element for building structures, yet its reinforcing material, steel rebar, is prone to corrosion. Despite its common usage in construction worldwide, steel reinforcement has the drawback of being susceptible to corrosion. The replacement of steel reinforcement is required to minimize corrosion occurrences and can be substituted with glass fiber reinforcement (GFRP), carbon fiber reinforcement (CFRP), and basalt fiber reinforcement (BFR). Basalt reinforcement exhibits strength qualities suitable for construction materials, being resistant to fire, radiation, and corrosion. Recognizing the potential of basalt reinforcement to replace steel reinforcement consistently, the author is interested in comparing the corrosion effects of basalt and steel reinforcement on the flexural performance of reinforced concrete beams.*

*Corrosion of reinforcements was conducted using seawater as the medium over a 28-day duration. This study evaluates the flexural performance of beams, such as maximum moment and deflection, through flexural testing with a single-point loading according to the SNI 03-2823-1992 guidelines. Specimens utilized in the testing had dimensions of "1040×150×300" mm with a planned compressive strength of 22 MPa. The research comprises four variations of reinforcement: corroded basalt reinforcement, non-corroded basalt reinforcement, conventional corroded steel reinforcement, and conventional non-corroded steel reinforcement.*

*The study reveals a 4.823 % decrease in maximum moment for beams with corroded basalt reinforcement and a 9.450 % decrease for beams with corroded steel reinforcement. Regarding deflection, beams with corroded basalt reinforcement experienced a 36.584 % decrease, while those with corroded steel reinforcement underwent a 42.404 % decrease in deflection value. Based on maximum moment and deflection, basalt-reinforced beams can replace steel-reinforced beams under corrosive conditions.*

**Keywords:** *Reinforced concrete beams, bending resistance, reinforcement corrosion, basalt reinforcement, steel reinforcement.*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Umum	6
2.2 Penelitian Terdahulu	6
2.3 Keaslian Penelitian	18
BAB III LANDASAN TEORI	19
3.1 Beton Bertulang	19
3.2 <i>Portland Cement (PC)</i>	21
3.3 Air	21
3.4 Agregat	22
3.4.1 Agregat Halus	23
3.4.2 Agregat Kasar	25
3.4.3 Pengujian Agregat Halus	26
3.4.4 Pengujian Agregat Kasar	28

3.5	Tulangan Longitudinal	30
3.5.1	Tulangan Baja	30
3.5.2	Tulangan Serat Basalt (BFRP)	32
3.5.3	Pengujian Tarik Tulangan	33
3.6	Pengkorosian Tulangan	33
3.7	Pengujian Lentur Beton	35
3.8	Mix Design	36
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		42
4.1	Tinjauan Umum	42
4.2	Variabel Penelitian	42
4.3	Teknik Pengumpulan Data	43
4.4	Bahan-Bahan yang Digunakan	43
4.5	Peralatan Penelitian	44
4.6	Lokasi Penelitian	45
4.7	Benda Uji	45
4.8	Tahapan Pelaksanaan Penelitian	46
4.9	Bagan Alir Penelitian	54
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		56
5.1	Pengujian Material	56
5.1.1	Agregat Halus Pasir Merapi	56
5.1.2	Uji Agregat Kasar	59
5.1.3	Efek Korosi Tulangan	63
5.1.4	Uji Tarik Tulangan	65
5.2	Perencanaan Campuran Beton ( <i>Mix Design</i> )	70
5.3	Analisis Data <i>Mix Design</i>	76
5.4	Analisis Tulangan Rangkap	78
5.5	Pengujian Kuat Lentur Balok	81
5.5.1	Mekanisme Pembebanan	81
5.5.2	Analisis Hasil Pengujian Lentur	82
5.6	Hubungan Beban dan Lendutan Balok	94
5.7	Kelayakan Tulangan Basalt Sebagai Pengganti	100
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		102

6.1	Kesimpulan	102
6.2	Saran	103
	DAFTAR PUSTAKA	104

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rekapitulasi Penelitian Terdahulu	11
Tabel 3.1 Persyaratan-persyaratan Batas Susunan Butir pada Agregat Halus	24
Tabel 3. 2 Persyaratan Agregat Halus	24
Tabel 3.3 Persyaratan Batas-batas Susunan Butir Pada Agregat Kasar	25
Tabel 3.4 Faktor Pengali Deviasi Standar	36
Tabel 3.5 Perkiraan Kekuatan Tekan Beton	37
Tabel 3.6 Perkiraan Kadar Air Bebas ( $\text{kg/m}^3$ )	38
Tabel 3.7 Persyaratan Minimum Kadar Semen dan Nilai FAS Maksimum	39
Tabel 4. 1 Variasi Benda Uji	45
Tabel 5. 1 Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air	56
Tabel 5.2 Uji Modulus Halus Butir Agregat Halus	57
Tabel 5.3 Uji Kandungan Lumpur (Lolos Saringan No. 200)	58
Tabel 5.4 Uji Berat Isi Gembur Agregat Halus	59
Tabel 5.5 Uji Berat Isi Padat Agregat Halus	59
Tabel 5.6 Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	60
Tabel 5.7 Uji Modulus Halus Butir Agregat Kasar	61
Tabel 5.8 Gradasi Agregat Kasar	61
Tabel 5.9 Uji Berat Isi Gembur Agregat Kasar	62
Tabel 5.10 Uji Berat Isi Padat Agregat Kasar	63
Tabel 5.11 Rekapitulasi Tulangan Setelah Korosi dan Sebelum Korosi	64
Tabel 5.12 Rekapitulasi Pengujian Tarik Tulangan	68
Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Uji Kekuatan Tekan Beton <i>Trial</i>	77
Tabel 5.14 Rekapitulasi Analisis Tulangan Rangkap	81
Tabel 5.15 Rekapitulasi Perhitungan Momen Maksimum	84
Tabel 5.16 Rasio Perbandingan Balok Tulangan Basalt & Balok Tulangan Baja	85
Tabel 5.17 Rasio Penurunan Nilai Defleksi	99

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Hubungan Tegangan ( $f$ ) dan Regangan ( $\epsilon$ ) Baja	31
Gambar 3.2 Lanjutan Hubungan Tegangan ( $f$ ) dan Regangan ( $\epsilon$ ) Baja	31
Gambar 3.3 Hubungan Tegangan ( $f$ ) dan Regangan ( $\epsilon$ ) Tulangan	32
Gambar 3.4 Pembebanan Pada Pengujian Lentur Beton	35
Gambar 3.5 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Faktor Air Semen	38
Gambar 3.6 Grafik Persentase Agregat Halus	40
Gambar 3.7 Grafik Berat Isi Beton	41
Gambar 4.1 Detail Penulangan Balok Tulangan Baja	47
Gambar 4.2 Detail Penulangan Balok Tulangan Basalt	47
Gambar 4.3 Ilustrasi Pengujian Lentur Balok	50
Gambar 4.4 Ilustrasi Reaksi Tumpuan	51
Gambar 4.5 Ilustrasi Lendutan Balok Pada Momen Maksimum	52
Gambar 4.6 Bagan Alir Penelitian	55
Gambar 5.1 Gradasi Daerah II	58
Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm	62
Gambar 5.3 Efek Korosi Pada Tulangan	64
Gambar 5.4 Pengujian Tarik Tulangan Basalt	69
Gambar 5.5 Tambahan Pengunci Tulangan Basalt	69
Gambar 5.6 Bekas Cengkraman Pada Tulangan Basalt Akibat Los Dari Mesin	70
Gambar 5.7 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan FAS	72
Gambar 5.8 Grafik Presentase Agregat Halus	73
Gambar 5.9 Grafik Berat Isi Beton	74
Gambar 5.10 Mekanisme Pembebanan Benda Uji Balok	82
Gambar 5.11 Benda Uji Akibat Momen Maksimum	86
Gambar 5.12 Diagram Gaya Geser dan Momen Lentur Benda Uji BTN1	87
Gambar 5.13 Diagram Gaya Geser dan Momen Lentur Benda Uji BTN2	88
Gambar 5.14 Diagram Gaya Geser dan Momen Lentur Benda Uji BTM1	89
Gambar 5.15 Diagram Gaya Geser dan Momen Lentur Benda Uji BTM2	90

Gambar 5.16 Diagram Gaya Geser dan Momen Lentur Benda Uji BKN1	91
Gambar 5.17 Diagram Gaya Geser dan Momen Lentur Benda Uji BKN2	92
Gambar 5.18 Diagram Gaya Geser dan Momen Lentur Benda Uji BKM1	93
Gambar 5.19 Diagram Gaya Geser dan Momen Lentur Benda Uji BKM2	94
Gambar 5.20 Beban vs Lendutan Balok Tulangan Basalt Tidak Korosi	95
Gambar 5.21 Beban vs Lendutan Balok Tulangan Basalt Korosi	96
Gambar 5.22 Beban vs Lendutan Balok Tulangan Baja Tidak Korosi	97
Gambar 5.23 Beban vs Lendutan Balok Tulangan Baja Korosi	98
Gambar 5.24 Perbandingan Beban vs Lendutan Setiap Balok	98

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$f'_c$	= Kuat tekan beton (MPa)
$f'_{cr}$	= Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan
$f_s$	= Tegangan Tarik putus (MPa)
$f_p$	= Batas proporsional
$f_e$	= Batas elastis
$f_{yu}, f_y$	= Tegangan leleh atas dan bawah
$f_u$	= Tegangan putus
$f_v$	= Tegangan geser
$\epsilon_{sb}$	= Regangan saat mulai terjadi efek <i>strain-hardening</i>
$\epsilon_u$	= Regangan saat tercapainya tegangan putus
PC	= <i>Portland Cement</i>
PCC	= <i>Portland Composite Cement</i>
SNI	= Standar nasional Indonesia
SSD	= <i>Saturated surface dry</i>
MPa	= Megapascal
°C	= Derajat celcius
M	= Nilai tambah
$S_r$	= Deviasi standar
w	= Kadar air bebas ( $kg/m^3$ )
$W_h$	= Perkiraan jumlah air untuk agregat halus ( $kg/m^3$ )
$W_k$	= Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar ( $kg/m^3$ )
fas	= Faktor air semen
$B_{jgab}$	= Berat jenis relatif/gabungan agregat
%Ag. Halus	= Persentase agregat halus (%)
%Ag. Kasar	= Persentase agregat kasar (%)
$B_{jag. halus}$	= Berat jenis agregat halus
$B_{jag. kasar}$	= Berat jenis agregat kasar

$W$	= Berat agregat (gram)
$W_{ag. gab}$	= Kadar agregat gabungan ( $kg/m^3$ )
$W_{beton}$	= Berat isi beton ( $kg/m^3$ )
$W_{semen}$	= Kadar semen ( $kg/m^3$ )
$W_{ag. halus}$	= Kadar agregat halus ( $kg/m^3$ )
$W_{ag. kasar}$	= Kadar agregat kasar ( $kg/m^3$ )
$W_1$	= Berat Benda Uji Kering Sebelum Dicuci (gram)
$W_2$	= Berat Benda Uji Setelah Dicuci (gram)
$P$	= Beban maksimum (N)
$P_{maks}$	= Kuat tarik putus (N)
$P_y$	= Kuat tarik leleh (N)
pH	= Kebasaan larutan
$A$	= Luas penampang benda uji ( $mm^2$ )
$A_{so}$	= Luas penampang benda uji semula ( $mm^2$ )
$\Pi_{maks}$	= Regangan maksimum benda uji saat putus (%)
$B_k$	= Berat Benda Uji Kering Oven (gram)
$B$	= Berat Piknometer Berisi Air (gram)
$B_t$	= Berat Piknometer Berisi Benda Uji dan Air (gram)
$B_j$	= Berat Benda Uji Kondisi Kering Permukaan Jenuh (gram)
$V$	= Volume ( $cm^3$ )
$m$	= Meter
$mm$	= Milimeter
$cm$	= Centimeter
$kN$	= Kilonewton
$N$	= Newton
$d$	= Diameter tabung silinder (mm)
$t$	= Tinggi tabung silinder (mm)
$kg$	= Kilogram
$L$	= Panjang antar tumpuan benda uji (mm)
$L_T$	= Panjang antar tumpuan benda uji (mm)

<i>B</i>	= Lebar tampang lintang patah (mm)
<i>H</i>	= Tinggi tampang lintang patah (mm)
<i>BKN</i>	= Beton konvensional tulangan normal tidak terkorosi
<i>BKN</i>	= Beton konvensional tulangan normal terkorosi
<i>BTN</i>	= Beton modifikasi tulangan basalt tidak terkorosi
<i>BTM</i>	= Beton modifikasi tulangan basalt terkorosi

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia terdiri dari pulau-pulau besar dan kecil dengan total kurang lebih 17.504 pulau, tiga perempat wilayahnya adalah laut atau sekitar 5,9 juta  $km^2$ , dengan panjang garis pantai 95.161 km (Arianto, 2020). Pembangunan pada wilayah perairan khususnya perairan laut memerlukan bahan material bangunan yang tahan terhadap korosi akibat air laut. Beton bertulang menjadi elemen yang sangat penting untuk struktur sebuah bangunan namun material dari beton bertulang yaitu baja tulangan memiliki kekurangan dapat dengan mudah mengalami korosi.

Menurut Wibowo, dkk (2021) daerah perairan dapat menimbulkan risiko serangan korosi yang tinggi, terutama pada lingkungan perairan laut. Umumnya korosi yang terjadi di perairan dapat menyerang logam, salah satunya adalah baja tulangan yang banyak digunakan sebagai bahan konstruksi dalam konstruksi bangunan, pelabuhan, jembatan, poros baling-baling, dan konstruksi lainnya yang terkait dengan lingkungan perairan. Dampak yang ditimbulkan adalah logam dapat mengalami serangan korosi dengan cepat akibat berinteraksi dengan lingkungan air yang mengandung salinitas sehingga logam tersebut akan mengalami kerusakan dan kehilangan sifat teknisnya.

Baja tulangan merupakan suatu bahan yang mudah mengalami korosi. Korosi baja tulangan adalah proses elektrokimia. Sel korosi terbentuk karena adanya perbedaan konsentrasi pada ion dan gas di sekitar logam. Pengaruh agresif zat korosif menyebabkan perubahan pada baja tulangan, perubahan ini meliputi diameter, berat, dan kekuatan. Hal ini tentu akan mempengaruhi kekuatan pada struktur beton bertulang.

Menurut Abhinaya dkk (2022), batuan basalt memiliki potensi sebagai bahan material yang maju namun belum dimanfaatkan secara maksimal di Indonesia. Basalt mempunyai sifat fisik yaitu memiliki ketahanan terhadap korosi sehingga cocok digunakan sebagai bahan material pengganti tulangan baja.

Penggunaan tulangan basalt sebagai pengganti tulangan baja dapat menunjukkan sifat ketahanan korosi yang unggul. Tulangan basalt memiliki kekuatan yang memungkinkan untuk dijadikan sebagai salah satu material konstruksi yaitu, tahan terhadap potensi kebakaran, tahan terhadap radiasi, dan tahan terhadap korosi.

Balok beton bertulang peranannya cukup besar untuk menahan beban, terutama beban lentur. Tulangan basalt dan baja yang di aplikasikan ke dalam struktur balok beton seharusnya dilakukan pengujian kinerja lentur. Pengujian kinerja lentur dilakukan guna mengetahui total beban yang dapat di tahan pada balok beton.

Berdasarkan uraian di atas, perlu kiranya alternatif pengganti supaya kekurangan-kekurangan yang terdapat pada tulangan baja dapat diganti dengan tulangan yang lebih baik secara kualitas. Tulangan serat basalt atau *Basalt Fiber Reinforced Polymer* (BFRP) dapat menjadi alternatif pengganti dari tulangan baja konvensional namun perlu dilakukan penelitian pada kondisi terkorosi agar dapat diketahui apakah tulangan basalt dapat menjadi pengganti tulangan baja. Pengkorosian pada beton bertulang seharusnya dilakukan perendaman dalam air laut dengan durasi tertentu. Keterbatasan dalam penelitian ini yaitu waktu karena perendaman beton bertulang untuk mencari pengkorosian memakan waktu yang sangat lama, dalam penelitian ini tulangan baja konvensional dan tulangan basalt (BFRP) saja yang akan dilakukan perendaman dengan media air laut selama 28 hari. Tulangan yang sudah korosi akan digunakan sebagai tulangan pada balok beton dengan dimensi 104 x 15 x 20 cm. Tulangan basalt akan digunakan sebagai tulangan tarik sedangkan tulangan baja konvensional akan digunakan sebagai tulangan tekan. Balok beton dilakukan *curing* selama 28 hari dan akan diuji lentur untuk memperoleh nilai kinerja lentur sebagai pembuktian apakah tulangan basalt (BFRP) yang terkorosi akan cocok di aplikasikan ke dalam struktur balok beton. Penelitian ini akan mendapatkan nilai perbandingan kinerja lentur dari balok beton bertulangan baja konvensional dan balok beton bertulangan basalt (BFRP).

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah di atas, maka didapatkan rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kinerja lentur balok beton bertulang yang menggunakan tulangan konvensional terkorosi dan tidak terkorosi ?
2. Bagaimana kinerja lentur balok beton bertulang yang menggunakan tulangan basalt (BFRP) terkorosi dan tidak terkorosi ?
3. Apakah tulangan basalt atau *Basalt Fiber Reinforced Polymer* (BFRP) dapat dijadikan sebagai pengganti tulangan baja konvensional pada kondisi terkorosi ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui kinerja lentur balok beton bertulang yang menggunakan tulangan konvensional terkorosi dan tidak terkorosi.
2. Mengetahui kinerja lentur balok beton bertulang yang menggunakan tulangan basalt (BFRP) terkorosi dan tidak terkorosi.
3. Mengetahui layak atau tidaknya tulangan basalt (BFRP) sebagai pengganti baja tulangan konvensional pada kondisi terkorosi.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pemanfaatan batuan basalt dalam inovasi material pembuatan tulangan diharapkan dapat mengurangi kelemahan pada tulangan baja konvensional.
2. Mengetahui kinerja lentur beton terbaik antara beton tulangan baja dan beton tulangan basalt yang terkorosi.
3. Dari penelitian ini, didapatkan beberapa pembuktian pada sifat-sifat tulangan baja dan tulangan basalt sehingga kelemahan-kelemahan pada sifat tulangan dapat diperbaiki.

## 1.5 Batasan Masalah

Agar Tugas Akhir dapat fokus terhadap permasalahan dan agar lebih terarah pada tujuan penelitian, batasan-batasan penelitian perlu ditetapkan dalam penelitian ini. Berikut merupakan penjelasan dari batasan-batasan penelitian sebagai berikut.

1. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain :
  - a. Agregat halus (pasir) yang penulis gunakan berasal dari gunung Merapi Yogyakarta.
  - b. Agregat kasar (kerikil) yang penulis gunakan berasal dari persediaan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII.
  - c. Air campuran beton yang penulis gunakan dalam penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII.
  - d. Air laut yang digunakan berasal dari Pantai Glagah Indah di Kulon Progo.
  - e. Semen yang digunakan adalah semen *Portland* tipe 1 dengan *merk* Semen Gresik.
  - f. Tulangan baja konvensional berasal dari toko bangunan di Sleman dengan merek *Master Steel* (MS).
  - g. Tulangan basalt berasal dari *marketplace Alibaba* dengan merek Anjie.
2. Pengujian kinerja lentur dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII.
3. Mutu rencana beton ( $f'c$ ) adalah 22 MPa pada umur 28 hari.
4. Tulangan basalt dan tulangan baja konvensional menggunakan D8 ulir.
5. Dalam penulangannya, sampel yang terdapat tulangan basalt akan digunakan juga tulangan baja konvensional sebagai tulangan tekannya karena minimnya jumlah tulangan basalt yang dibeli dikarenakan biaya pengiriman yang terlalu mahal.
6. Durasi waktu perendaman tulangan dilakukan selama 28 hari.
7. Perendaman tulangan dilakukan pada tempat tertutup dengan menggunakan batako dan terpal yang dibentuk kolam di rumah.
8. Perawatan beton silinder saat *trial* akan dilaksanakan dengan menutup menggunakan karung goni yang disiram air sedangkan balok beton akan dilaksanakan dengan menutup menggunakan karung goni yang disiram air.

9. Bentuk sampel beton bertulang adalah balok dengan ukuran dimensi balok 104 x 15 x 20 cm.
10. Pembebanan yang digunakan pada benda uji beton adalah beban vertikal dengan metode pembebanan 1 titik sesuai dengan SNI 03-2823-1992.
11. Terdapat 2 benda uji pada setiap variasi dikarenakan terbatasnya biaya untuk pembelian tulangan basalt.
12. Dalam proses perencanaan pencampuran beton (*mix design*) menggunakan standar SNI-03-2834-2000.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat-agregat lain yang dicampur jadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air yang akan membentuk suatu massa mirip batuan. Zat aditif perlu ditambahkan guna mempermudah dalam pengerjaan beton (*workability*), *durabilitas* serta waktu pengerasan. Untuk memperbaiki kualitas dari beton, bahan-bahan lain (*admixture*) terkadang perlu ditambahkan (Mc.Cormac, 2004).

Beton bertulang merupakan unsur bangunan yang biasa digunakan dari beberapa jenis material dalam dunia konstruksi selain baja dan berbagai bahan kayu alami. Beton bertulang merupakan kombinasi dari dua material, yaitu baja tulangan dan beton. Baja tulangan memiliki nilai ketahanan tarik yang tinggi sehingga baja tulangan sering digunakan pada beton agar bisa memberikan ketahanan tarik dari beton yang dibutuhkan dalam sebuah konstruksi bangunan (Rusdianto & Septiropa, 2005).

Baja memiliki manfaat diantaranya keuletannya tinggi, mudah dibentuk dan di *machining* tetapi baja ini memiliki kekuatan yang relatif rendah sehingga rawan terjadi korosi (Sakti, 2014). Penggantian material pada beton dengan menggunakan tulangan basalt akan sangat berpengaruh pada sifat korosif yang ada pada tulangan baja sehingga akan memperkecil kemungkinan terjadinya retak dan pengeroposan akibat korosi pada tulangan beton serta dapat meningkatkan kekuatan beton secara keseluruhan.

#### **2.2 Penelitian Terdahulu**

Dalam melakukan penelitian, tentu akan membutuhkan penelitian terdahulu sebagai referensi dalam melaksanakan tugas akhir ini. Berikut merupakan rangkuman penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian ini.

1. Penelitian dengan judul Efek Korosi Tulangan Terhadap Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang oleh Ridwan Rasyid, Mufti Amir Sultan, Arbain Tata, dan Endi Setiawan, 2022.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh korosi terhadap tulangan dengan metode eksperimental dan benda uji berupa tulangan yang telah dikorosi percepat menggunakan metode pengaliran listrik. Penelitian ini dilakukan dengan diameter tulangan  $\phi 8$  dan  $\phi 10$ , dengan benda uji beton berbentuk balok dengan dimensi 1200 mm x 100 mm x 150 mm, variasi waktu korosi yang digunakan adalah 24, 36, dan 72 jam, mutu beton rencana 25 Mpa. Penurunan tegangan tarik ditunjukkan pada variasi 24 jam sebesar 10,9 Mpa, variasi 36 jam mengalami penurunan sebesar 2,3% dan variasi 72 jam sebesar 12,8%. Hasil dari pengujian ini didapatkan kemampuan balok dalam menerima beban maksimum mengalami penurunan seiring dengan lama pengkorosian baja tulangan, penurunan beban maksimum pada pengkorosian 72 jam sebesar 24,39 Mpa terhadap balok dengan tulangan tidak korosi, tegangan tarik antara tulangan baja normal dengan tulangan korosi didapatkan hasil yang tidak berbeda jauh dengan tulangan normal memiliki hasil rata-rata 454,8 Mpa dan terjadi penurunan pada tulangan korosi 24 jam sebesar 0,90 % lalu penurunan tulangan korosi 36 jam sebesar 0,94 % dan tulangan korosi 72 jam sebesar 2,8 %, kapasitas penampang balok untuk menerima beban lentur mengalami penurunan seiring dengan tingkat korosi tulangan.

2. Penelitian dengan judul Efek Perkuatan Glass Fiber Reinforced Polymer Sheet Pada Balok Beton Bertulang Dengan Tulangan Korosi oleh Ridwan AR, Mufti Amir Sultan, dan Abdul Gaus, 2022.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk menyajikan tentang balok beton bertulang yang tulangannya telah korosi kemudian diberi perkuatan eksternal berupa serat *glass* tipe lembaran atau *Glass Fiber Reinforced Polymer-Sheet* (GFRP-S). Penelitian ini dilakukan pada benda uji beton berbentuk balok dengan ukuran 1600 mm x 150 mm x 200 mm dengan jumlah benda uji sebanyak 5 buah. Tulangan utama yang digunakan besi  $\phi 12$  mm dan tulangan sengkang  $\phi 8$ -100, mutu beton digunakan 25 Mpa, umur 28 hari dengan variasi waktu

pengkorosian tulangan selama 2 minggu, 4 minggu, dan 6 minggu dengan metode perendaman pada larutan asam sulfat 2,0%. Dari penelitian ini, didapatkan laju korosi untuk benda uji dengan waktu pengkorosian 2 minggu sebesar 0,0026 %/hari, benda uji dengan waktu pengkorosian 4 minggu sebesar 0,0031 %/hari, dan benda uji dengan waktu pengkorosian 6 minggu sebesar 0,0028 %/hari. Hasil penelitian ini didapatkan bahwa balok beton bertulang yang diperkuat dengan GFRP-S memiliki kapasitas lebih besar dibandingkan dengan balok normal sebesar 12,07%, balok beton bertulang dengan tulangan tingkat korosi lebih besar (pengkorosian 6 minggu) cenderung menurunkan kapasitas balok namun kapasitasnya masih lebih besar dari balok normal sebesar 1,38%. (Ridwan AR et al, 2022).

3. Penelitian dengan judul Pengaruh Korosi Tulangan Secara Alami Pada Balok Beton Bertulang Terhadap Kuat Lentur Dan Geser oleh Anggi Ahmad Mulyadi dan Eko Walujodjati, 2022.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mencari nilai kuat lentur dan geser balok dengan pengaruh korosi tulangan secara alami. Pengkorosian tulangan dilakukan ditempat terbuka selama 4 bulan, mutu beton rencana  $F'c$  20 Mpa dengan umur beton 28 hari. Penelitian ini dilakukan pada benda uji silinder dengan ukuran 150 mm x 300 mm (untuk uji tekan), sampel dengan bentuk balok dengan ukuran 600 mm x 100 mm x 200 mm menggunakan tulangan korosi (untuk uji lentur dan geser), dan sampel dengan bentuk balok dengan ukuran 600 mm x 100 mm x 200 mm (untuk uji lentur dan geser) dengan sampel masing-masing pengujian sebanyak 3 buah dan menggunakan tulangan dengan diameter ( $\phi$ ) 8 mm dan ( $\phi$ ) 10 mm. Pengujian tarik pada tulangan korosi dengan tulangan diameter ( $\phi$ ) 8 mm diperoleh  $F_y = 517,52$  Mpa dan tulangan diameter ( $\phi$ ) 10 mm diperoleh  $F_y = 569$  Mpa, sedangkan pada tulangan tidak korosi dengan tulangan diameter ( $\phi$ ) diperoleh  $F_y = 530,12$  Mpa dan tulangan diameter ( $\phi$ ) 10 mm diperoleh  $F_y = 586,84$  Mpa. Hasil penelitian didapatkan bahwa uji kuat tekan beton dengan umur 28 hari rata-rata sebesar 18,91 Mpa, kuat tarik tulangan tidak korosi 8 ( $\phi$ ) 530,12 Mpa, tulangan korosi 8 ( $\phi$ ) 517,52 Mpa, tulangan tidak korosi 10 ( $\phi$ ) 586,84, tulangan korosi 10 ( $\phi$ )

569,00 Mpa. Nilai momen kuat lentur rata-rata balok tulangan korosi adalah 3,90 KNm, nilai tegangan balok dengan tulangan korosi rata-rata adalah 6,92 Mpa, dan untuk tulangan tidak korosi adalah 5,53 Mpa. Untuk nilai kuat geser balok beton bertulang tidak korosi lebih tinggi daripada balok beton bertulang korosi, balok beton bertulang dengan tulangan tidak korosi lebih besar 91,04 kN daripada balok beton dengan tulangan korosi 89,23 kN (Mulyadi & Walujodjati, 2022).

4. Penelitian dengan judul Kajian Kinerja Lentur Balok Beton Bertulang Serat Basalt Batang Polimer Bertulang Basalt oleh Kangjia Song, Yang Yu, Yutau Liu, dan Jichong Zhao, 2023.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk Meningkatkan keuletan beton dengan memasukkan serat basalt dalam jumlah tertentu, sehingga mengurangi bahaya yang terkait dengan kegagalan getas pada struktur komposit. Penelitian ini dilakukan pada benda uji beton berbentuk balok dengan ukuran  $15 \times 20 \times 140$  cm, mutu rencana 30 MPa dengan umur beton 28 hari. Hasil penelitian ini didapatkan perbandingan dengan benda uji balok tulangan basalt yang tidak mempunyai perkuatan serat basal, benda uji balok tulangan basalt dengan serat basalt 0,1% dan balok tulangan basalt dengan serat basalt 0,2% menunjukkan peningkatan daya dukung beban ultimit masing-masing sebesar 4,24% dan 8,27%. Selain itu, beban retaknya meningkat masing-masing sebesar 7,89% dan 18,42%. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penambahan serat basal pada balok BFRC batang BFRP ini tidak meningkatkan daya dukung beban ultimit secara signifikan tetapi mempunyai pengaruh yang lebih nyata terhadap peningkatan beban retak. Dengan dosis serat basal yang sama, spesimen balok tulangan basalt dengan serat 0,2% menunjukkan peningkatan kapasitas dukung beban ultimat sebesar 58,27% dibandingkan dengan spesimen balok tulangan baja dengan serat 0,2%. Namun, beban retak menurun sebesar 4%, yang menunjukkan bahwa penggabungan batangan BFRP (Basalt-Fiber-Reinforced Polymer) pada balok memberikan pengaruh yang besar dalam menambah kapasitas dukung beban ultimit, sedangkan pengaruhnya minimal terhadap retak.

Berikut rangkuman referensi penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Rekapitulasi Penelitian Terdahulu

Aspek	PENELITIAN TERDAHULU			
	Ridwan Rasyid dkk (2019)	Ridwan AR dkk (2022)	Anggi Ahmad dan Eko Walujodjati (2022)	Kangjia dkk (2023)
Judul	Efek Korosi Tulangan Terhadap Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang.	Efek Perkuatan Glass Fiber Reinforced Polymer Sheet Pada Balok Beton Bertulang Dengan Tulangan Korosi.	Pengaruh Korosi Tulangan Secara Alami Pada Balok Beton Bertulang Terhadap Kuat Lentur Dan Geser.	Kajian Kinerja Lentur Balok Beton Bertulang Serat Basal tata Polimer Bertulang Basalt.
Tujuan	Mengetahui pengaruh korosi terhadap tulangan dengan metode eksperimental dan benda uji berupa tulangan yang telah	Menyajikan tentang balok beton bertulang yang tulangnya telah korosi kemudian diberi perkuatan eksternal berupa serat <i>glass</i> tipe	Mencari nilai kuat lentur dan geser balok dengan pengaruh korosi tulangan secara alami.	Meningkatkan keuletan beton dengan memasukkan serat basalt dalam jumlah tertentu, sehingga mengurangi bahaya

Lanjutan Tabel 2.1 Rekapitulasi Penelitian Terdahulu

Aspek	Ridwan Rasyid dkk (2019)	Ridwan AR dkk (2022)	Anggi Ahmad dan Eko Walujodjati (2022)	Kangjia dkk (2023)
	dikorosi percepat menggunakan metode pengaliran listrik.	lembaran atau <i>Glass Fiber Reinforced Polymer-Sheet</i> (GFRP-S).		yang terkait dengan kegagalan getas pada struktur komposit
<b>Variasi Lama Pengkorosian</b>	24 jam, 36 jam, dan 72 jam.	2 minggu, 4 minggu, dan 6 minggu.	4 Bulan.	-
<b>Jenis Pengujian</b>	Uji Kapasitas Lentur.	Uji Tarik Baja, Uji Kapasitas Lentur Beton	Uji Kuat Lentur dan Geser.	Uji Lentur Statis
<b>Benda Uji</b>	Balok 10 x 15 x 120 cm.	Balok 15 x 20 x 160 cm	Benda uji silinder dengan ukuran 15 x 30 cm (untuk uji tekan), sampel dengan betuk balok dengan ukuran 10 x 20 x 60 cm	Balok 15×20×140 cm.

Lanjutan Tabel 2.1 Rekapitulasi Penelitian Terdahulu

Aspek	Ridwan Rasyid dkk (2019)	Ridwan AR dkk (2022)	Anggi Ahmad dan Eko Walujodjati (2022)	Kangjia dkk (2023)
			menggunakan tulangan korosi (untuk uji lentur dan geser), dan sampel dengan bentuk balok ukuran 10 x 20 x 60 cm (untuk pengujian lentur dan geser).	
<b>Mutu Beton Rencana</b>	25 MPa.	25 MPa.	20 MPa.	30 MPa.
<b>Umur Beton</b>	28 Hari.	28 Hari.	28 Hari.	28 Hari.
<b>Hasil Penelitian</b>	a. Hasil dari pengujian ini didapatkan dalam menerima beban maksimum, kemampuan balok	Dari penelitian ini, didapatkan laju korosi untuk benda uji dengan waktu pengkorosian 2 minggu sebesar 0,0026	Hasil penelitian didapatkan bahwa pengujian kekuat tekan beton dengan umur 28 hari didapatkan rata-rata	a. Dibandingkan dengan benda uji balok tulangan basalt yang tidak mempunyai perkuatan serat basal,

Lanjutan Tabel 2.1 Rekapitulasi Penelitian Terdahulu

Aspek	Ridwan Rasyid dkk (2019)	Ridwan AR dkk (2022)	Anggi Ahmad dan Eko Walujodjati (2022)	Kangjia dkk (2023)
	<p>mengalami penurunan tergantung pada lama pengkorosian tulangan baja,pada waktu pengkorosian 72 jam penurunan maksimum sebesar 24,39 kNm terhadap balok dengan tulangan tidak korosi.</p> <p>b. Tegangan tarik antara tulangan baja normal dengan tulangan korosi didapatkan hasil yang tidak berbeda jauh dengan tulangan normal</p>	<p>%/hari, benda uji dengan waktu pengkorosian 4 minggu sebesar 0,0031%/hari, dan benda uji dengan waktu pengkorosian 6 minggu sebesar 0,0028 %/hari. Hasil penelitian ini didapatkan bahwa balok beton bertulang yang diperkuat dengan GFRP-S memiliki kapasitas lebih besar dibandingkan dengan balok normal sebesar</p>	<p>sebesar 18,91 Mpa, lalu untuk pengujian ketahanan tarik tulangan tidak korosi 8 (<math>\phi</math>) 530,12 Mpa, tulangan korosi 8 (<math>\phi</math>) 517,52 Mpa, tulangan tidak korosi 10 (<math>\phi</math>) 586,84, tulangan korosi 10 (<math>\phi</math>) 569,00 Mpa. Nilai momen kuat lentur rata-rata balok tulangan korosi adalah 3,90 KNm, nilai tegangan balok dengan tulangan</p>	<p>benda uji balok tulangan basalt dengan serat basalt 0,1% dan balok tulangan basalt dengan serat basalt 0,2% menunjukkan peningkatan daya dukung beban ultimit masing-masing sebesar 4,24% dan 8,27%. Selain itu, beban retaknya meningkat masing-masing sebesar 7,89% dan 18,42%. Oleh</p>

Lanjutan Tabel 2.1 Rekapitulasi Penelitian Terdahulu

Aspek	Ridwan Rasyid dkk (2019)	Ridwan AR dkk (2022)	Anggi Ahmad dan Eko Walujodjati (2022)	Kangjia dkk (2023)
	<p>memiliki hasil rata-rata 454,8 Mpa dan terjadi penurunan tulangan terkorosi dengan waktu 24 jam sebesar 0,90 % lalu penurunan tulangan terkorosi dengan waktu 36 jam sebesar 0,94 % dan tulangan terkorosi dengan waktu 72 jam sebesar 2,8 %.</p> <p>c. Kapasitas penampang balok dalam menerima beban lentur mengalami penurunan</p>	<p>12,07%, balok beton bertulang dengan tulangan tingkat korosi lebih besar (pengkorosian 6 minggu) cenderung menurunkan kapasitas balok namun kapasitasnya masih lebih besar dari balok normal sebesar 1,38%.</p>	<p>korosi rata-rata adalah 6,92 Mpa, dan untuk tulangan tidak korosi adalah 5,53 Mpa. Untuk nilai kuat geser balok beton bertulang korosi lebih rendah daripada balok beton bertulang tidak korosi, balok beton bertulang dengan tulangan korosi lebih kecil 89,23 kN daripada balok beton dengan tulangan tidak korosi 91,04 kN.</p>	<p>karena itu, dapat disimpulkan bahwa penambahan serat basal pada balok BFRC batang BFRP ini tidak meningkatkan daya dukung beban ultimit secara signifikan tetapi mempunyai pengaruh yang lebih nyata terhadap peningkatan beban retak.</p> <p>b. Dengan dosis serat</p>

Lanjutan Tabel 2.1 Rekapitulasi Penelitian Terdahulu

Aspek	Ridwan Rasyid dkk (2019)	Ridwan AR dkk (2022)	Anggi Ahmad dan Eko Walujodjati (2022)	Kangjia dkk (2023)
	bersamaan dengan korosi tulangan.			basal yang sama, spesimen balok tulangan basalt dengan serat 0,2% menunjukkan peningkatan kapasitas dukung beban ultimat sebesar 58,27% dibandingkan dengan spesimen balok tulangan baja dengan serat 0,2%. Namun, beban retak menurun sebesar 4%, yang menunjukkan bahwa

Lanjutan Tabel 2.1 Rekapitulasi Penelitian Terdahulu

Aspek	Ridwan Rasyid dkk (2019)	Ridwan AR dkk (2022)	Anggi Ahmad dan Eko Walujodjati (2022)	Kangjia dkk (2023)
				<p>penggabungan batangan BFRP (Basalt-Fiber-Reinforced Polymer) pada balok memberikan pengaruh yang besar dalam menambah kapasitas dukung beban ultimit, sedangkan pengaruhnya minimal terhadap retak.</p>

### **2.3 Keaslian Penelitian**

Merujuk pada beberapa penelitian di atas, penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian terdahulu. Penelitian yang penulis lakukan yaitu membandingkan pengaruh korosi tulangan basalt dan tulangan baja terhadap kinerja lentur balok beton bertulang, dengan lama pengkorosian tulangan 28 hari dan menggunakan nilai mutu beton rencana 22 MPa. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengkaji tulangan basalt sebagai material pengganti tulangan baja dalam sebuah beton bertulang. Benda uji yang digunakan merupakan balok dengan dimensi  $104 \times 15 \times 20$  cm. Sedangkan penelitian terdahulu seperti penelitian Kangjia, dkk (2023) balok bertulangan basalt memiliki penambahan serat basalt sebanyak 0,1 % dan 0,2 % serta dengan kondisi tulangan tidak terkorosi. Berdasarkan penjelasan tersebut, keaslian dari penelitian ini dapat dijamin dan ditegaskan.

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Beton Bertulang**

Beton adalah material yang memiliki sifat komposit yaitu hasil peracikan dari berbagai material yang terdiri dari semen, air, agregat halus, agregat kasar, dan material sejenis lainnya. Sedangkan beton bertulang merupakan bahan komposit di mana baja tulangan disusun sedemikian rupa ke dalam beton agar menjadi beton bertulang, sehingga berfungsi untuk dapat memiliki ketahanan tarik pada suatu struktur. Bahan material tulangan dan beton bekerja sama untuk menahan berbagai macam gaya yang bekerja pada elemen tersebut. Pencampuran kedua material tersebut menjadikan beton bertulang memiliki sifat ketahanan tekan dan ketahanan tarik yang sangat kuat. Singkatnya, beton terbentuk dari hasil pengerasan campuran antara agregat kasar, agregat halus, air, dan semen. Beton memiliki sifat ketahanan yang besar terhadap kekuatan tekan, namun sebaliknya ketahanan terhadap kekuatan tarik memiliki nilai yang sangat kecil. Untuk memperbaiki mutu beton, perlu ditambahkan bahan lainnya (*admixture*) (Asroni, 2010).

Nilai mutu dan daya tahan (*durability*) pada beton merupakan fungsi yang terdiri dari berbagai macam faktor, seperti kadar perbandingan pada campuran dan mutu bahan penyusun, metode dalam pelaksanaan pengecoran serta cara perawatan beton. Jika diperlukan, material penambah (*admixture*) dapat ditambahkan atau sebagai material pengganti untuk mengubah sifat-sifat tertentu yang ada pada beton. Kekuatan tarik pada beton memiliki nilai yang relatif lebih rendah dibanding dengan nilai kekuatan tekannya, di samping itu beton memiliki sifat yang getas atau mudah rapuh. Kekuatan tarik pada beton berkisar pada nilai 9 % - 15 % dari nilai kekuatan tekan beton, maka dari itu dalam struktur bangunannya, supaya dapat menambah nilai kekuatan tariknya beton perlu diperkuat dengan material penambah yaitu tulangan baja, sehingga beton dan tulangan baja akan bekerja bersama dan saling menutupi kelemahannya (Dipohusodo, 1994).

Beton memiliki banyak kelebihan dibanding dengan material lainnya, Adapun kelebihan dari beton antara lain :

1. Ketahanan tekan beton yang tinggi akan cocok dikombinasikan dengan tulangan baja karena memiliki nilai ketahanan tarik yang tinggi juga sehingga dapat digunakan untuk struktur bangunan.
2. Memiliki nilai ketahanan tekan yang tinggi serta dapat tahan terhadap pengkorosian dan tahan terhadap api.
3. Harga beton relatif lebih murah dibanding material lainnya, karena bahan penyusun beton dapat ditemukan di sekitar kita.
4. Beton segar mudah dicetak dengan bentuk dan ukuran yang kita inginkan.
5. Beton memiliki sifat tahan terhadap aus dan tahan terhadap api sehingga dapat menekan pengeluaran.
6. Beton segar dapat dimasukkan ke dalam permukaan beton lama yang sudah mulai terjadi keretakan dalam proses perbaikan struktur dan memungkinkan untuk dilakukan pengecoran pada tempat yang posisinya sulit.

Adapun kelemahan yang ada pada beton antara lain sebagai berikut :

1. Ketahanan tarik beton yang rendah sehingga beton dapat dengan mudah mengalami keretakan ataupun rusak.
2. Beton memiliki sifat yang sangat sulit untuk tahan terhadap air sehingga air dapat masuk ke dalam beton, jika air yang masuk terdapat kandungan garam maka akan merusak beton dikarenakan tulangan baja yang mudah korosi terhadap air.
3. Beton dapat mengeras dan menyusut dikarenakan ada faktor perubahan suhu.
4. Beton segar dapat menyusut pada saat tahapan pengeringan dan dapat mengembang pada saat kondisi basah.
5. Beton cenderung memiliki sifat yang getas, namun jika ditambahkan dengan baja tulangan maka akan menjadi sifat yang daktail.
6. Bangunan yang memiliki bahan dasar dari beton memiliki daya gema suara yang cukup besar.

### 3.2 *Portland Cement (PC)*

Semen menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 15-2049-2004) adalah bubuk halus yang memiliki sifat adhesif maupun kohesif, yaitu bubuk sebagai bahan perekat. Bahan perekat memiliki arti yaitu suatu reaksi semen mengikat butir-butir agregat hingga terbentuknya suatu massa yang padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Ketika semen dicampur dengan air akan terbentuk campuran yang biasa disebut dengan pasta semen, jika ditambahkan dengan pasir dan air maka akan membentuk mortar, jika dicampur dengan batu atau kerikil maka terbentuk suatu beton. Semen dan air tergolong aktif sedangkan pasir dan kerikil tergolong pasif dalam campuran beton karena berfungsi sebagai pengikat.

Berdasarkan kebutuhan dari penggunaan beton, dalam SNI 15-2049-2004 semen dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain sebagai berikut.

- Tipe I : semen Portland universal, tidak seperti jenis semen lainnya yang berarti tidak membutuhkan persyaratan khusus.
- Tipe II : semen portland yang membutuhkan ketahanan moderat terhadap sulfat atau panas hidrasi saat digunakan.
- Tipe III : semen portland yang apabila digunakan membutuhkan kekuatan yang tinggi pada tahap awal setelah pengikatan.
- Tipe IV : semen portland yang saat digunakan membutuhkan suhu hidrasi yang rendah.
- Tipe V : semen portland yang saat digunakan membutuhkan resistansi yang tinggi terhadap sulfat.

### 3.3 **Air**

Air merupakan bahan baku yang diperlukan untuk reaksi kimia dalam semen untuk membentuk pasta semen. Agar memudahkan pekerjaan dan proses pemadatan, air dibutuhkan sebagai pelumas antara butiran dalam agregat. Dalam pembuatan beton, air merupakan salah satu bahan yang sangat penting karena air merupakan bahan baku yang dapat bereaksi dengan semen sehingga membentuk pasta dan mengikat agregat. Air juga mempengaruhi kuat tekan beton, jika jumlah

air dalam semen terlalu banyak maka kekuatan beton akan menurun. Kelebihan air juga dapat mengakibatkan beton bersifat *bleeding*, yaitu air dan semen bergerak bersama menuju atas permukaan beton segar yang baru dituangkan. Karakteristik ini *bleeding* dapat menyebabkan kurangnya daya rekat antar lapisan pada beton namun, terlalu sedikit air akan menyebabkan hidrasi yang tidak merata. Dalam penggunaannya, air campuran beton segar berjumlah sekitar 0,3 dari berat semen, namun untuk penggunaan faktor air semen (fas) kurang dari 0,35 sulit di aplikasikan, karena beton cenderung sulit untuk dikerjakan, keropos, dan memiliki kekuatan yang rendah.

Air dalam campuran semen akan menyebabkan hidrasi dengan semen, lebih jelasnya reaksi kimia antara air dan semen yang dapat menyebabkan campuran tersebut mengeras dalam jangka waktu tertentu. Jumlah air yang dibutuhkan untuk hidrasi adalah sekitar 20% berat semen. Air yang digunakan pada pembuatan dan perawatan beton harus menggunakan air bersih atau air yang terhindar dari zat-zat seperti minyak, garam, asam alkali, bahan organik, dan bahan lainnya karena dapat merusak kualitas dan mutu beton.

Tjokrodimuljo (1992) menetapkan syarat-syarat air yang dapat digunakan dalam proses pencampuran beton, antara lain sebagai berikut.

- a. Jangan mengandung lumpur lebih dari 2 gram/liter.
- b. Tidak mengandung garam yang berbahaya bagi beton diatas dari 15 gram/liter.
- c. Bebas dari klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
- d. Tidak mengandung senyawa sulfat diatas dari 1 gram/liter.

### **3.4 Agregat**

Agregat adalah partikel mineral alami yang mempunyai fungsi sebagai pengisi dalam campuran beton. Agregat membentuk 70% dari massa mortar atau beton. Agregat memiliki pengaruh yang besar terhadap sifat-sifat beton, sehingga pemilihan jenis agregat sangat penting dalam produksi beton (Tjokrodimuljo, 1992).

Agregat yang digunakan harus memiliki permukaan yang keras, baik, bersih, kuat, dan memiliki ukuran partikel yang baik. Gradasi agregat yaitu variasi (distribusi) dari ukuran butir agregat dan dinyatakan sebagai persentase dari berat total. Gradasi diperoleh setelah hasil pengayakan, untuk agregat kasar dengan ukuran lubang ayakan 10 mm hingga 40 mm. Sedangkan untuk gradasi agregat halus, ukuran saringannya dari 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm. Agar mudah membedakan jenis agregat khususnya ukuran butiran, jika lebih besar dari 4,75 mm diklasifikasikan sebagai agregat kasar, dan jika ukuran butirannya kurang dari 4,75 mm diklasifikasikan sebagai agregat halus.

#### 3.4.1 Agregat Halus

Agregat halus adalah segala butiran partikel yang lolos saringan ayakan ukuran 4,75 mm. Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alami (dari alam), hasil pemecahan dari batuan secara alami atau berupa pasir buatan yang dihasilkan dari industri pemecah batu dan biasa disebut abu batu. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 %, dan tidak mengandung zat-zat organik yang dapat merusak beton dan mempengaruhi mutu beton. Agregat halus ini berfungsi untuk mengisi ruangan antar butiran agregat kasar dan memberikan kelecakan. Kualitas pasir sangat mempengaruhi terhadap kualitas beton yang dihasilkan. Oleh karena itu, pasir yang digunakan harus diuji sebelum digunakan dan memenuhi persyaratan standar yang ditentukan. Persyaratan umum agregat halus dapat dilihat sebagai berikut (SNI-03-6821-2002):

- a. Agregat halus harus terdiri dari butiran yang tajam dan keras.
- b. Butiran halus bersifat abadi, ini berarti tidak akan pecah atau hancur karena faktor cuaca. Sifat abadi agregat halus dapat diuji menggunakan larutan jenuh garam. Dengan natrium sulfat, jumlah maksimum bagian yang hancur adalah 10% dari berat.
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung lanau lebih dari 5% dari berat kering dan jika kadar lanau lebih dari 5% maksa pasir harus dicuci.

Mengenai persyaratan batas-batas susunan butir agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

**Tabel 3.1 Persyaratan-persyaratan Batas Susunan Butir pada Agregat Halus**

Ukuran lubang saringan (mm)	Persentase berat bagian yang lolos ayakan (%)			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
9,6	100	100	100	100
4,8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

Keterangan :

- Zona I = Pasir Kasar
- Zona II = Pasir Agak Kasar
- Zona III = Pasir Agak Halus
- Zona IV = Pasir Halus

Sesuai dengan SNI 03-6819-2002, agregat halus dari berbagai sumber bahan harus terdiri dari pasir atau saringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang melewati saringan No.4 (4,75 mm) dan ditahan oleh saringan No.200 (0,075). Fungsi utama dari agregat halus adalah memberikan stabilitas dan mengurangi deformasi perkerasan permanen melalui keadaan saling mengunci (*interlocking*) dan gesekan antar butiran. Agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.3.

**Tabel 3. 2 Persyaratan Agregat Halus**

Jenis Pemeriksaan	Metode Pengujian	Persyaratan
Berat Jenis <i>Bulk</i>	SNI 03-1969-1990	Min. 2,5
Berat Jenis SSD		
Berat Jenis Semu		
Penyerapan, %	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%
Kadar Lempung	SNI 03-4142-2008	Maks 1%

### 3.4.2 Agregat Kasar

Menurut (SNI 03-2843-2000) agregat kasar adalah agregat yang ukuran butirannya lebih dari 5 mm, atau agregat yang butirannya dapat tertahan pada saringan No.4 (4,75 mm). Agregat kasar yang digunakan untuk bahan beton dapat berupa kerikil yang merupakan hasil dari disintegrasi alami dari bebatuan atau dapat juga berupa batu pecah hasil dari industri pemecah batu. Agregat kasar yang baik terdiri dari partikel-partikel kasar yang memiliki permukaan kasar, kekal dan bentuknya bersudut atau tidak rata. Sifat kekal diketahui apabila dilakukan pengujian dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut.

- Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12%.
- Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%.

Kebersihan pada agregat kasar juga harus diperhatikan, tidak mengandung lumpur diatas 1% dan juga tidak mengandung bahan organik yang dapat merusak beton. Harus memiliki variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Serta mempunyai modulus kehalusan antara 6-7,10. Persyaratan batas ukuran butir agregat kasar ditunjukkan pada Tabel 3.4 berikut.

**Tabel 3.3 Persyaratan Batas-batas Susunan Butir Pada Agregat Kasar**

Ukuran lubang saringan (mm)	Persentase berat bagian yang lolos saringan (%)		
	Diameter nominal agregat (mm)		
	Maksimum 40	Maksimum 20	Maksimum 10
38,1	95 - 100	100	-
19,0	37 - 70	95 - 100	100
9,5	10 - 40	30 - 60	50 - 85
4,8	0 - 5	0 - 10	0 - 10

(sumber : SNI 03-2834-2000)

Menurut Tjokrodinuljo (2007), agregat kasar yang bisa digunakan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut.

1. Agregat kasar harus berupa butiran yang keras dan tidak berpori.
2. Agregat kasar harus tidak boleh mengandung bahan organik.
3. Agregat kasar (kerikil) berbentuk tajam atau tidak rata.

### 3.4.3 Pengujian Agregat Halus

Pengujian material agregat halus di dalamnya termasuk pengujian berat jenis dan daya serap air, modulus halus, kadar lumpur, dan berat volume.

Adapun penjelasannya sebagai berikut.

#### 1. Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Pengujian berat jenis agregat halus dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan angka daya serap air dalam agregat halus, berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), dan berat jenis semu.

##### a. Berat Jenis Curah

Berat jenis curah adalah rasio berat agregat yang dikeringkan dengan oven terhadap air suling jenuh pada suhu tertentu yang mengandung bahan yang sama dengan agregat. Di bawah ini adalah rumus berat jenis curah:

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{B_k}{B + B_j - B_t} \quad (3.1)$$

Keterangan :

$B_k$  = Berat Benda Uji Kering Oven (gram)

$B$  = Berat Piknometer Berisi Air (gram)

$B_t$  = Berat Piknometer Berisi Beda Uji dan Air (gram)

$B_j$  = Berat Benda Uji Kondisi Kering Permukaan Jenuh (gram)

##### b. Berat Jenis Kering Permukaan (SSD)

Berat jenis kering permukaan adalah perbandingan berat antar agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan dengan air suling yang berisi bahan yang sama dengan agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Berikut persamaan berat jenis kering permukaan:

$$\text{Berat Jenis SSD} = \frac{B_j}{B + B_j - B_t} \quad (3.2)$$

Keterangan :

$B$  = Berat Piknometer Berisi Air (gram)

$B_t$  = Berat Piknometer Berisi Beda Uji dan Air (gram)

$B_j$  = Berat Benda Uji Kondisi Kering Permukaan Jenuh (gram)

##### c. Berat Jenis Semu

Berat jenis semu adalah perbandingan berat antara agregat kering dengan air suling yang berisi bahan yang sama dengan agregat pada keadaan kering di suhu tertentu. Berikut persamaan berat jenis semu:

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{B_k}{B + B_k - B_t} \quad (3.3)$$

Keterangan :

$B_k$  = Berat Benda Uji Kering Oven (gram)

$B$  = Berat Piknometer Berisi Air (gram)

$B_t$  = Berat Piknometer Berisi Beda Uji dan Air (gram)

#### d. Penyerapan Air

Penyerapan air adalah perbandingan antara berat air yang dapat diserap oleh pori terhadap berat dari agregat kering. Berikut persamaan penyerapan air.

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \quad (3.4)$$

Keterangan :

$B_k$  = Berat Benda Uji Kering Oven (gram)

$B_j$  = Berat Benda Uji Kondisi Kering Permukaan Jenuh (gram)

### 2. Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus

Tujuan dari pengujian modulus halus butir atau analisa saringan agregat halus adalah untuk mendapatkan pengklasifikasian agregat halus berdasarkan butirannya. Berikut adalah rumus modulus halus butir.

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\sum \text{Berat Tertinggal kumulatif (\%)}}{100} \quad (3.5)$$

### 3. Pengujian Kandungan Lumpur (Lolos Ayakan No.200)

Tujuan dari pengujian kandungan lanau atau lumpur adalah untuk mengetahui persentase kadungan lanau atau lumpur pada pasir. Pengujian ini menggunakan agregat halus yang lolos dari saringan No.200 (0,075 mm). Di bawah ini adalah persamaan kandungan lumpur.

$$\text{Kandungan Lumpur} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (3.6)$$

Keterangan :

$W_1$  = Berat Benda Uji Kering Sebelum Dicuci (gram)

$W_2$  = Berat Benda Uji Setelah Dicuci (gram)

#### 4. Pengujian Berat Volume Agregat Halus

Pengujian berat volume agregat halus memiliki tujuan untuk mengetahui klasifikasi agregat halus berdasarkan berat volume. Berat volume adalah nilai indeks yang diperoleh dari massa agregat per satuan volume dalam keadaan padat atau gembur. Berikut rumus berat volume agregat halus.

$$\text{Berat Volume} = \frac{W}{V} \quad (3.7)$$

Keterangan :

W = Berat Agregat (gram)

V = Volume Tabung ( $cm^3$ )

#### 3.4.4 Pengujian Agregat Kasar

Pengujian material agregat kasar ada berbagai macam jenis yaitu pengujian berat jenis dan daya serap air, modulus halus butir, dan berat volume. Adapun penjelasannya sebagai berikut.

##### 1. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar dan Penyerapan air.

Pengujian berat jenis agregat kasar dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan angka berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan penyerapan air.

##### a. Berat Jenis Curah

Berat jenis curah adalah perbandingan antara berat agregat kering dengan berat air suling yang isinya serupa dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Berikut persamaan berat jenis curah:

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{B_k}{B_j - B_a} \quad (3.8)$$

Keterangan :

B<sub>k</sub> = Berat Benda Uji Kering Oven (gram)

B<sub>j</sub> = Berat Benda Uji Kondisi Kering Permukaan Jenuh (gram)

B<sub>a</sub> = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh Dalam Air  
(gram)

##### b. Berat Jenis Kering Permukaan (SSD)

Berat jenis kering permukaan (SSD) adalah perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dengan berat air suling yang isinya

sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu. Berikut persamaan berat jenis curah :

$$\text{Berat Jenis SSD} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \quad (3.9)$$

Keterangan :

$B_j$  = Berat Benda Uji Kondisi Kering Permukaan Jenuh (gram)

$B_a$  = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh Dalam Air (gram)

c. Berat Jenis Semu

Berat jenis semu adalah rasio berat agregat kering pada suhu tertentu dengan berat air suling dalam jumlah yang sama dengan isi agregat kering. Berikut rumus berat jenis semu :

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{B_k}{B_k - B_a} \quad (3.10)$$

Keterangan :

$B_k$  = Berat Benda Uji Kering Oven (gram)

$B_a$  = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh Dalam Air (gram)

d. Penyerapan Air

Penyerapan atau daya serap air ialah persentase berat air yang dapat diserap oleh pori sehingga mencapai kondisi SSD. Berikut persamaan penyerapan air :

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \quad (3.11)$$

Keterangan :

$B_k$  = Berat Benda Uji Kering Oven (gram)

$B_j$  = Berat Benda Uji Kondisi Kering Permukaan Jenuh (gram)

2. Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Kasar

Tujuan dari pengujian modulus halus butir atau analisis ayakan agregat kasar adalah untuk memperoleh klasifikasi agregat kasar berdasarkan butirannya. Berikut rumus modulus halus butir.

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\Sigma \text{ Berat Tertinggal kumulatif (\%)}}{100} \quad (3.12)$$

### 3. Pengujian Berat Volume Agregat Kasar

Pengujian berat volume agregat kasar memiliki tujuan agar mendapatkan klasifikasi dari agregat kasar berdasarkan berat volume. Berat volume adalah nilai indeks yang diperoleh dari massa agregat per satuan volume dalam keadaan padat ataupun gembur. Berikut rumus perhitungan berat volume agregat kasar :

$$\text{Berat Volume} = \frac{W}{V} \quad (3.13)$$

Keterangan :

W = Berat Agregat (gram)

V = Volume Tabung ( $cm^3$ )

## 3.5 Tulangan Longitudinal

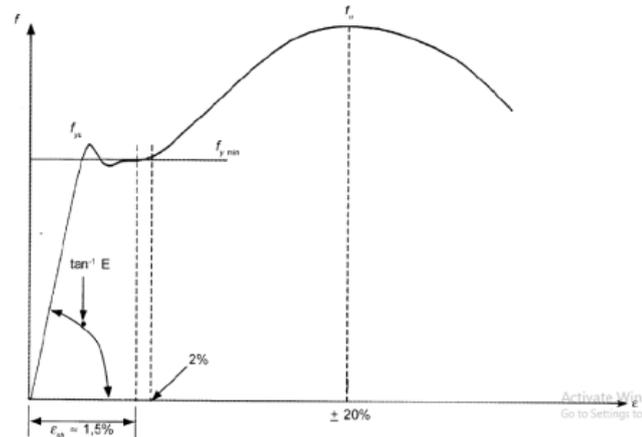
Terdapat beberapa macam material yang bisa dipakai pada tulangan longitudinal, contohnya seperti baja dan batuan basalt. Namun, baja merupakan material yang rentan terhadap korosi terlebih jika terpapar oleh air laut. Oleh karena itu banyak penelitian yang membuktikan bahwa batuan basalt dapat menggantikan baja sebagai unsur dalam beton yaitu tulangan. Penjelasan mengenai tulangan baja dengan tulangan basalt sebagai berikut :

### 3.5.1 Tulangan Baja

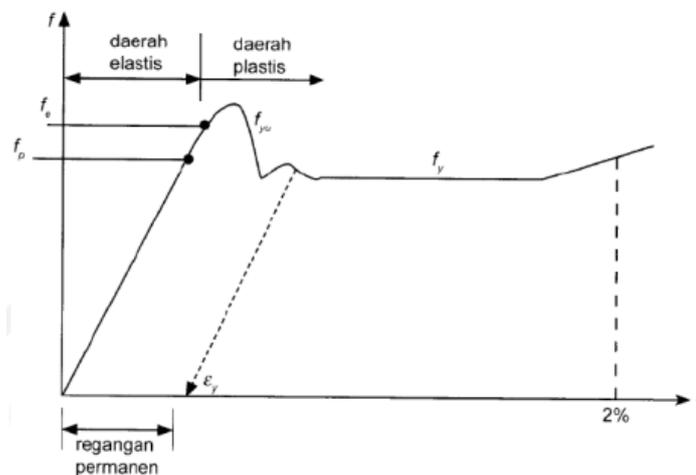
Menurut SNI 07-2052-2002 baja tulangan adalah baja yang berbentuk batang dengan memiliki penampang berbentuk bundar yang digunakan sebagai penulangan beton, dan diproduksi dari bahan baku billet dengan canai panas. Baja tulangan terdiri dari 2 jenis yaitu baja tulangan beton polos dan baja tulangan beton sirip. Baja tulangan beton polos (BjTP) yaitu baja tulangan beton yang memiliki penampang bundar dengan permukaan yang rata. Sedangkan baja tulangan sirip (BjTS) yaitu baja tulangan beton dengan bentuk permukaannya memiliki sirip melintang dan rusuk memanjang untuk meningkatkan daya lekat serta untuk menahan gerakan membujur dari batang secara relatif.

Baja tulangan pada konstruksi beton bertulang memiliki peran yang sangat penting, mengingat struktur beton bertulang terdiri dari 2 unsur utama yaitu beton

dan tulangan. Baja tulangan memiliki sifat yang penting untuk diperhatikan secara mendalam pada perencanaan beton bertulang, di antaranya ialah tegangan leleh ( $f_y$ ) dan modulus elastisitas ( $E_s$ ). Berikut grafik tegangan-regangan dari baja dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan 3.2 berikut.



**Gambar 3.1 Hubungan Tegangan ( $f$ ) dan Regangan ( $\epsilon$ ) Baja**  
(Sumber: Setiawan, 2008)



**Gambar 3.2 Lanjutan Hubungan Tegangan ( $f$ ) dan Regangan ( $\epsilon$ ) Baja**  
(Sumber: Setiawan, 2008)

Keterangan :

$f_p$  = Batas proporsional

$f_e$  = Batas elastis

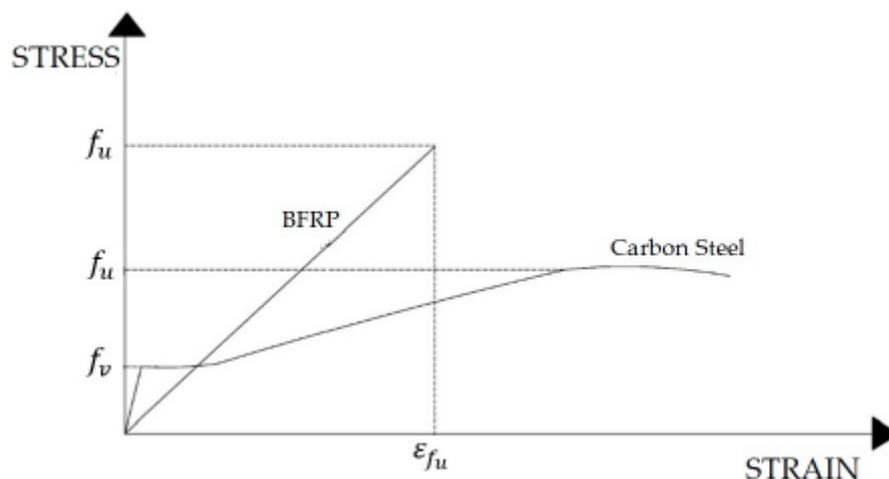
$f_{y, u}, f_y$  = Tegangan leleh atas dan bawah

- $f_u$  = Tegangan putus  
 $\epsilon_{sb}$  = Regangan saat mulai terjadi efek *strain-hardening*  
 $\epsilon_u$  = Regangan saat tercapainya tegangan putus

### 3.5.2 Tulangan Serat Basalt (BFRP)

Menurut Waddah dkk (2021) Batang FRP basalt adalah bahan komposit yang terdiri dari resin polimer kaku yang mengikat serat basalt secara searah. Serat basalt diproduksi dengan melelehkan batuan basalt vulkanik alami yang dihancurkan pada suhu hampir 1400 °C. Batuan cair diekstrusi melalui nosel kecil untuk menghasilkan filamen serat basalt yang terus menerus. Jumlah serat basalt pada batangan BFRP tidak dilakukan standarisasi, namun kandungan serat yang paling banyak sering dilaporkan di kisaran 75% sampai 90%.

Tulangan Basalt (BFRP) mungkin 2-3 kali lebih kuat dalam hal kekuatan tarik ( $f_u$ ) dari tulangan baja tradisional. Namun, untuk modulus elastisitas baja tradisional mungkin 3-5 kali lebih besar dari BFRP. Modulus elastisitas dari tulangan basalt BFRP bervariasi dari 44,5 Mpa – 71 MPa tergantung pada jenis resin, pabrikan produksi, dan dari diameter tulangan. Berikut grafik tegangan-regangan tulangan basalt dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



**Gambar 3.3 Hubungan Tegangan (f) dan Regangan (ε) Tulangan Basalt dan Karbon Baja**

(Sumber: Waddah Al Hawat et al, 2008)

Keterangan :

$f_v$  = Tegangan geser

$f_u$  = Tegangan putus

$\epsilon_{fu}$  = Regangan saat tercapainya tegangan putus

### 3.5.3 Pengujian Tarik Tulangan

Pengujian tarik tulangan bertujuan untuk mendapat nilai kekuatan tarik tulangan dan parameter lainnya seperti nilai kuat tarik leleh, nilai kuat tarik putus, regangan maksimum, dan kontraksi penampang. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

#### 1. Tegangan Tarik Putus ( $f_s$ )

Tegangan tarik putus adalah besar tegangan di mana bahan atau sampel yang diuji mengalami putus atau patah. Berikut persamaan tegangan tarik putus :

$$f_s = \frac{P_{maks}}{A_{so}} \quad (3.14)$$

Di mana :

$F_s$  = Tegangan tarik putus, Mpa

$P_{maks}$  = Kuat tarik putus, N

$A_{so}$  = Luas penampang benda uji semula,  $mm^2$

#### 2. Tegangan Tarik Leleh ( $f_y$ )

Tegangan tarik leleh adalah besar tegangan yang menunjukkan pada titik leleh (*yield point*) sebagai deviasi yang diartikan dengan jelas dari elastisitas sempurna atau kekuatan leleh. Berikut persamaan tegangan tarik leleh :

$$f_y = \frac{P_y}{A_{so}} \quad (3.15)$$

Di mana :

$F_y$  = Tegangan tarik leleh, N

$P_y$  = Kuat tarik leleh, N

$A_{so}$  = Luas penampang benda uji semula,  $mm^2$

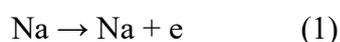
## 3.6 Pengkorosian Tulangan

Menurut Mulyadi (2022) pengkorosian tulangan baja konvensional terjadi akibat penurunan mutu logam akibat elektrokimia dengan lingkungan sekitar, sel

korosi terbentuk di sekitar logam karena terdapat perbedaan pada konsentrasi ion dan gas, normalnya proses korosi akan menghasilkan senyawa yaitu karat. Serangan korosi ini tidak hanya mengakibatkan kerusakan pada bangunan yang menggunakan konstruksi saja, konstruksi beton bertulang yang nampaknya aman pun ternyata dalam kondisi tertentu baja tulangan di dalamnya dapat mengalami korosi. Namun air laut dapat mengakibatkan tulangan yang ada dalam beton menjadi korosi sehingga umur layanan struktur beton yang terpapar baik langsung maupun tidak langsung oleh lingkungan laut akan mengalami kerusakan lebih cepat dari yang sudah ditentukan.

Menurut Fahirah (2017), proses pengkorosian tulangan konvensional pada beton ini dimulai dengan larutnya proses protektif tulangan akibat terjadinya penurunan pada pH larutan pori beton yang disebabkan oleh karbonasi atau akibat serangan ion-ion agresif. Difusivitas dan penetrasi gas berbahaya dan ion agresif ke dalam beton berakibat pada tulangan konvensional dalam beton yang awalnya pasif menjadi aktif terkorosi. Ini adalah kerusakan pertama dari kerusakan struktural beton dengan tulangan korosi lalu yang selanjutnya akan menyebar ke segala arah dan menyebabkan kerusakan pada struktur beton bangunan.

Penyebab utama korosi adalah faktor logam dan faktor lingkungan. Faktor logam mencakup komponen penyusun logam dan cacat kristal di dalamnya, sedangkan faktor lingkungan melibatkan konsentrasi oksigen, pH, temperatur, komposisi kimia, dan konsentrasi larutan dalam lingkungan. Proses korosi dapat dijelaskan melalui reaksi elektrokimia menggunakan molekul natrium klorida. Reaksi ini menghasilkan pembentukan garam dapur sebagai berikut :



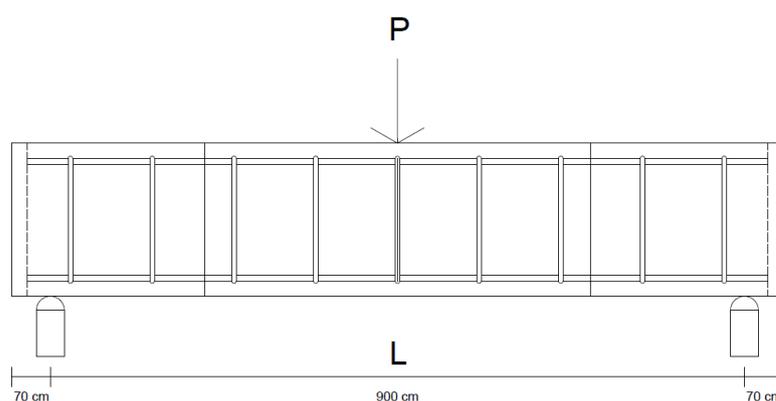
Persamaan (1) menyatakan bahwa sebuah atom natrium menyerahkan sebuah elektron untuk membentuk ion natrium bermuatan positif, persamaan (2) menyatakan bahwa sebuah atom klorin menerima sebuah elektron untuk membentuk atom klorida bermuatan negatif. Reaksi-reaksi seperti persamaan (1) disebut reaksi oksidasi, sedangkan pada persamaan (2) disebut reaksi reduksi.

Apabila suatu bahan ionik dilarutkan ke dalam air maka ion-ionnya akan memisahkan diri dan menyebar secara acak di antara molekul-molekul air. Setiap kali sebuah ion positif terbentuk, sebuah ion negatif juga terbentuk, pernyataan ini disebut dengan prinsip elektronetralitas. Reaksi elektrokimia pada proses korosi melibatkan sistem anoda dan katoda, elektrolit dan hubungan listrik.

### 3.7 Pengujian Lentur Beton

Pengujian lentur beton bertujuan untuk mengetahui kemampuan beton yang diaplikasikan pada dua titik tumpuan agar menahan benda uji dengan arah tegak lurus sumbunya dan mematahkan benda uji, hasil dari pengujian ini dinyatakan dengan satuan *kiloNewton* (kN) (SNI 03-2823-1992). Balok penahan beban akan mengalami perubahan bentuk yang biasa disebut dengan deformasi, sehingga terjadi momen lentur. Momen pada beton menyebabkan munculnya perlawanan yang terjadi pada material terhadap beban luar dan akan menghasilkan tegangan yang terjadi ketika balok mengalami deformasi sehingga tidak dapat melewati tegangan lentur dari material yang berasal dari beton.

Adapun mekanisme pembebanan 1 titik dalam pengujian lentur dengan benda uji balok beton bertulang dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.



**Gambar 3.4 Pembebanan Pada Pengujian Lentur Beton**

Pengujian lentur ini akan memperoleh nilai beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton bertulang. Nilai pembebanan maksimum ini selanjutnya

akan digunakan untuk mencari nilai momen maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton bertulang.

### 3.8 Mix Design

*Mix design* adalah proses merencanakan dan menentukan bahan material yang akan digunakan serta proporsi relatif dengan tujuan untuk memproduksi beton dengan mutu tertentu, daya tahan tertentu, dan ekonomis. Perencanaan campuran beton yang akan dilakukan pada penelitian ini bersumber dari SNI 03-2834-2000. Di bawah ini merupakan penjelasan mengenai tahapan *mix design*.

#### 1. Kekuatan tekan rencana

Kekuatan tekan rata-rata yang diisyaratkan pada umur beton tertentu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.19 di bawah.

$$f_{cr} = f'_c + M \quad (3.19)$$

Di mana :

$$M = 1,64 \times S_r \quad (3.20)$$

Dengan :

$f_{cr}$  = Kekuat tekan rata-rata rencana (Mpa)

$f'_c$  = Kekuat tekan rencana (Mpa)

M = Penambahan nilai

1,64 = Ketetapan statistik

$S_r$  = Standar deviasi

Nilai deviasi standar menurut SNI 03-2834-2000 terdapat pada Tabel 3.5 berikut.

**Tabel 3.4 Faktor Pengali Deviasi Standar**

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Standar Deviasi
Kurang dari 15	Lihat butir 4.2.3.1 (1) (5)
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 atau lebih	1.00

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Dalam catatan terdapat kurang dari 15 buah benda uji, maka nilai  $f_{cr}$  tidak kurang dari  $(f_c+12)$  MPa.

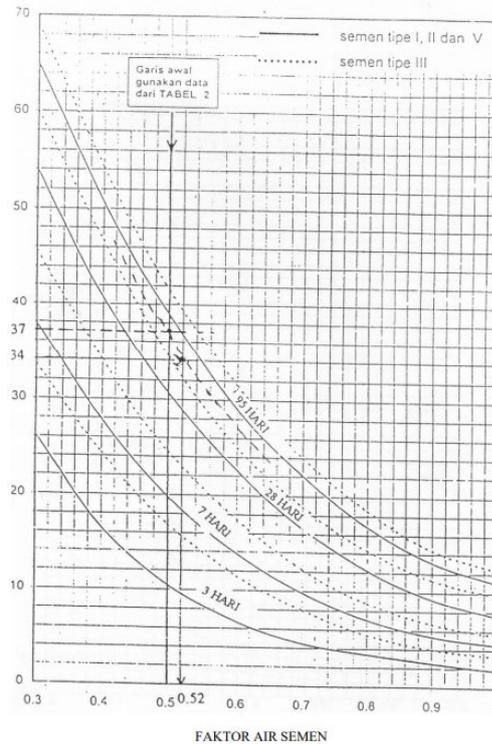
## 2. Faktor Air Semen (FAS)

Hubungan antara kuat tekan dengan faktor air semen (FAS) dapat ditentukan melalui Tabel 3.6 di bawah ini dan Grafik pada Gambar 3.5 berikut.

**Tabel 3.5 Perkiraan Kekuatan Tekan Beton**

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	29	Bentuk Uji
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Silinder
	Batu pecah	30	40	53	60	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



**Gambar 3.5 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Faktor Air Semen**

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

### 3. Kadar Air Bebas

Nilai slump ditentukan berdasarkan keadaan pada saat pekerjaan dilaksanakan agar dapat memperoleh beton yang mudah dituang, dipadatkan, dan diratakan.

Nilai slump dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \quad (3.21)$$

Dengan:

$W_h$  = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus,

$W_k$  = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar.

Untuk nilai  $W_h$  dan  $W_k$  dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut.

**Tabel 3.6 Perkiraan Kadar Air Bebas ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )**

Slump (mm)		0 - 10	10 - 30	30 - 60	60-180
Ukuran besar butiran maksimum agregat	Jenis Agregat				
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225

**Lanjutan Tabel 3.7 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m<sup>3</sup>)**

	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

**4. Kadar Semen**

Kadar air semen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.22 berikut.

$$\text{Kadar semen} = \frac{\text{kadar air bebas}}{\text{faktor air semen}} \quad (3.22)$$

Setelah melakukan perhitungan menggunakan persamaan 3.22 kemudian menentukan syarat kadar semen minimum dan faktor air semen maksimum dengan menggunakan Tabel 3.8. Apabila kadar semen berbeda dengan yang telah ditentukan, maka perlu diperhitungkan kembali.

**Tabel 3.7 Persyaratan Minimum Kadar Semen dan Nilai FAS Maksimum**

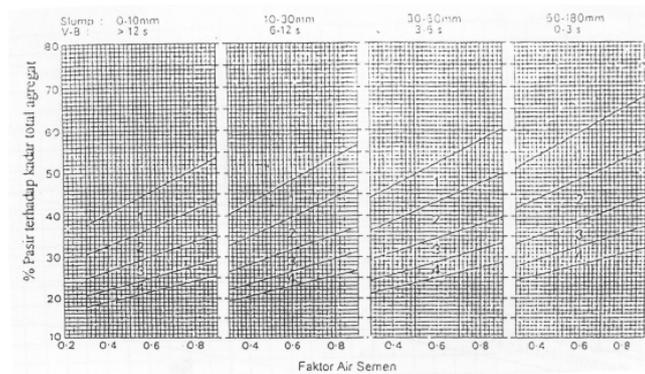
Lokasi	Jumlah minimum semen Per m <sup>3</sup> beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton yang berada di dalam ruang bangunan:	275	0.60
a. Kondisi keliling non-korosif		
b. Kondisi keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0.52
Beton yang berada di luar ruangan bangunan:	325	0.60
a. Tidak terlindung dari hujan dan panas matahari langsung	275	0.60
b. Terlindung dari hujan dan panas matahari langsung		
Beton masuk ke dalam tanah:	325	0.55

**Lanjutan Tabel 3.8 Persyaratan Minimum Kadar Semen dan Nilai FAS  
Maksimum**

<p>a. Mengalami kondisi basah dan kering berganti-ganti</p> <p>b. Mendapat pengaruh dari tanah yaitu sulfat dan alkali</p> <p>Beton yang kontinu berhubungan:</p> <p>a. Air tawar</p> <p>Air laut</p>		
---	--	--

5. Kadar agregat halus

Dalam penentuan kadar agregat halus harus berbentuk nilai persentase meliputi data slump dan FAS, selain itu perlu memperhatikan area gradasi dari butir agregat halus. Dari persentase agregat halus dapat ditentukan dengan bantuan grafik pada gambar 3.6 berikut.

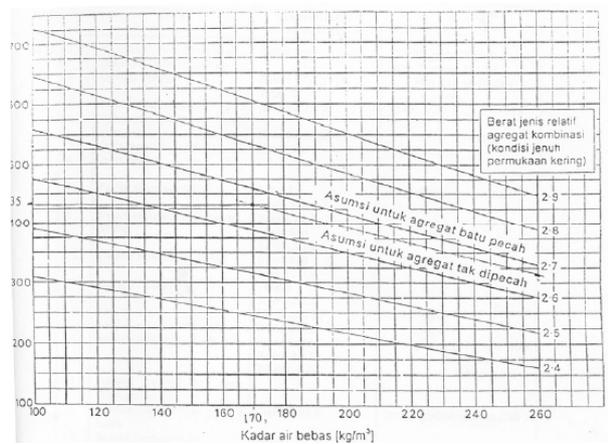


**Gambar 3.6 Grafik Persentase Agregat Halus**

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

6. Berat Isi Beton

Untuk mendapatkan nilainya, dilakukan menurut grafik yang tertera pada Gambar 3.7 berikut dengan mengikuti nilai kadar air bebas serta nilai berat jenis relatif dari agregat campuran.



**Gambar 3.7 Grafik Berat Isi Beton**

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

#### 7. Komposisi Material

Dari perhitungan berat air, berat semen, dan berat isi beton maka didapatkan berat agregat campurannya. Nilai persentase dan berat yang telah diketahui dapat digunakan untuk memperoleh berat masing-masing material dalam 1 m<sup>3</sup> campuran beton.

## **BAB IV**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **4.1 Tinjauan Umum**

Menurut Sugiyono (2017) metode penelitian merupakan cara ilmiah untuk mendapatkan data yang memiliki tujuan dan kegunaan tertentu. Dari pengertian tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa metode penelitian adalah suatu cara yang digunakan dengan tujuan memperoleh data mengenai suatu objek dari penelitian dan bertujuan untuk memecahkan suatu permasalahan. Selain itu, metode penelitian juga memberikan pandangan pada saat dilakukan penelitian di antaranya: prosedur dan tahapan yang harus dilakukan, waktu penelitian, sumber data, dan tata cara untuk mendapatkan data sehingga dapat dilakukan pengolahan dan analisis.

Metode yang digunakan pada Tugas Akhir penelitian ini adalah dengan menggunakan metode eksperimental. Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia. Objek yang utama pada penelitian ini adalah balok beton dengan tulangan baja konvensional dan tulangan basalt yang tulangannya terkorosi oleh air laut. Proses perendaman tulangan dilaksanakan dengan waktu 28 hari. Kemudian beberapa tulangan tersebut dilakukan pengujian tarik untuk mendapat nilai kinerja tarik pada tulangan korosi dan tulangan lainnya dilakukan pembuatan beton bertulang dengan ukuran  $1040 \times 150 \times 200$  mm lalu dilaksanakan pengujian lentur beton. Pengujian dilaksanakan pada saat umur beton 28 hari. Lalu dari hasil penelitian ini, diharapkan tulangan basalt dapat digunakan sebagai alternatif pengganti tulangan baja.

#### **4.2 Variabel Penelitian**

Variabel penelitian (objek penelitian) merupakan suatu atribut atau sifat atau nilai dari seseorang, objek atau kegiatan yang memiliki variasi tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian dapat ditarik

kesimpulannya. (Sugiyono, 2007). Dalam penelitian ini menggunakan dua variabel, adapun penjelasannya sebagai berikut.

1. Variabel bebas (*independent variable*) pada penelitian ini yaitu penggunaan tulangan baja serta tulangan basalt, dan lama perendaman tulangan.
2. Variabel terikat (*dependent variable*) yaitu berupa pembebanan maksimum, nilai momen lentur balok beton, dan defleksi.
3. Variabel kontrol (*control variable*) yaitu berupa dimensi dari benda uji balok beton, diameter tulangan, dan perawatan benda uji.

#### **4.3 Teknik Pengumpulan Data**

Pengumpulan data ini dimaksudkan untuk memudahkan penulis pada saat melaksanakan pengujian yaitu perbandingan pengaruh korosi tulangan basalt dan tulangan konvensional pada balok beton bertulang terhadap kinerja lentur. Terdapat dua jenis data dalam penelitian ini, yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang didapatkan penulis dari hasil pengujian yang dikerjakan. Data tersebut meliputi data pengujian tarik tulangan, berat balok beton, pembebanan maksimum balok, durasi pembebanan, dan lendutan balok beton bertulang.

2. Data Sekunder

Data sekunder dalam penelitian ini ialah data yang sumbernya berasal dari media perantara seperti jurnal, buku, arsip, dan lain sebagainya yang sudah di *publish* pada khalayak umum. Data sekunder yang dipakai oleh penulis adalah Standar Nasional Indonesia (SNI), jurnal-jurnal penelitian, dan laman berita *online*.

#### **4.4 Bahan-Bahan yang Digunakan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bahan-bahan untuk perendaman tulangan
  - a. Air laut bersumber dari Pantai Glagah.

2. Bahan-bahan untuk pembuatan beton bertulang
  - a. Tulangan Baja D8 & P6.
  - b. Tulangan Basalt D8.
  - c. Agregat halus dan kasar.
  - d. Semen Portland.
  - e. Tahu Beton (*Decking*) K-300.
  - f. Air yang bersumber dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

#### 4.5 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Alat-alat yang digunakan antara lain sebagai berikut.

1. Bata putih, digunakan untuk kolam perendaman tulangan.
2. Terpal, digunakan untuk kolam perendaman tulangan.
3. Bekisting dengan dimensi 104 x 15 x 20 cm berbahan *multiplex*.
4. *Mixer* atau pengaduk beton.
5. Neraca berkapasitas 20 kg.
6. Ayakan dan *Vibrator* ayakan.
7. Alat uji lentur balok beton (*Hydraulic Concrete Beam*).
8. Alat uji tarik tulangan.
9. Alat uji *slump*.
10. *Crane*, digunakan untuk mempermudah mobilisasi benda uji.
11. *Data logger*, digunakan untuk membaca dan menampilkan data dari pengujian.
12. *Load cell*, digunakan untuk membaca besaran nilai beban yang terjadi pada beton.
13. Alat bantu lain yang digunakan sebagai keperluan penelitian seperti cangkul, sekop, oven, palu, ember, wadah, kuas, dan lain sebagainya.

#### 4.6 Lokasi Penelitian

Dalam kegiatan penelitian mulai dari tahapan awal hingga pengujian-pengujian semua dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

#### 4.7 Benda Uji

Benda uji yang dipakai dalam penelitian ini memiliki bentuk balok beton dengan jumlah total 8 benda uji yang terdiri dari 2 balok beton bertulang dengan baja konvensional yang terkorosi, 2 balok beton bertulang dengan tulangan baja konvensional tidak terkorosi, 2 balok beton bertulang dengan tulangan basalt yang terkorosi, dan 2 balok beton bertulang dengan tulangan basalt yang tidak terkorosi. Berdasarkan SNI 03-2493-1991, balok beton bertulang harus memiliki panjang empat kali lebar balok, tinggi balok lebih besar dari lebar balok sehingga benda uji yang digunakan dalam penelitian ini memiliki bentuk balok dengan panjang 104 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 20 cm (104x15x20).

**Tabel 4. 1 Variasi Benda Uji**

No	Kode Benda Uji	Varian Tulangan Lentur	Jumlah Benda Uji (Buah)
1.	BKN	Baja Tidak Terkorosi	2
2.	BKM	Baja Terkorosi	2
3.	BTN	Basalt Tidak Terkorosi	2
4.	BTM	Basalt Terkorosi	2

Keterangan :

BKN = Beton tulangan konvensional yang tidak terkorosi;

BKM = Beton tulangan konvensional yang terkorosi;

BTN = Beton tulangan basalt yang tidak terkorosi;

BTM = Beton tulangan basalt yang terkorosi.

#### 4.8 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Adapun dalam menjalankan penelitian dilakukan dengan menggunakan tahapan-tahapan sebagai berikut:

##### 1. Tahap I (Persiapan Penelitian)

Dalam melaksanakan penelitian, tahap pertama yang dilakukan adalah tahap persiapan. Tahap persiapan ini meliputi semua persiapan peralatan dan bahan material yang dibutuhkan dalam penelitian, seperti agregat halus, agregat kasar, semen, tulangan baja, tulangan basalt, dan air.

##### a. Material Tulangan

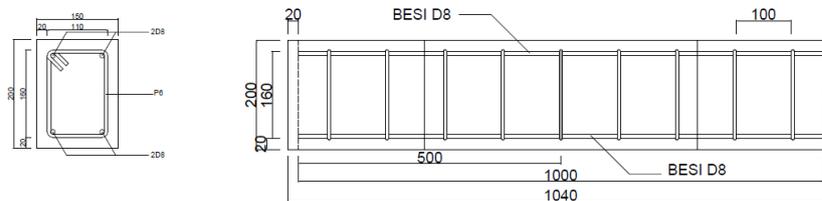
Dalam penelitian ini, material yang digunakan untuk tulangan geser adalah dengan menggunakan tulangan baja polos dengan dimensi P6, namun untuk tulangan lentur menggunakan tulangan ulir/sirip baja dan tulangan ulir/sirip basalt BFRP dengan diameter tulangan D8.

##### b. Perendaman Tulangan

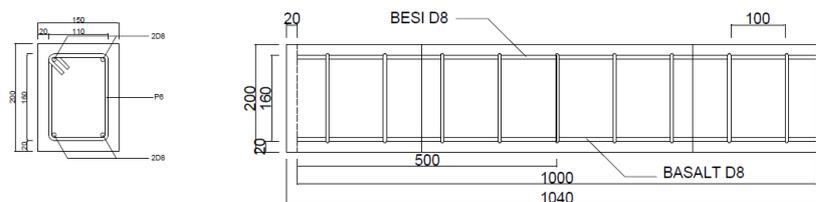
Pada tahap perendaman ini, tulangan baja dan tulangan basalt direndam menggunakan air laut pada sebuah tempat yang terbuat dari terpal dan batak. Pada saat proses perendaman, agar kandungan air laut terjaga maka penulis akan mengganti dengan air laut yang baru setiap seminggu sekali serta untuk menjaga kadar air agar tidak menguap atau tidak tercampur oleh tanah, zat-zat aditif atau kotoran hewan maka pada saat proses perendaman akan ditutup dengan menggunakan terpal. Perendaman dilakukan dengan waktu 28 hari.

##### c. Perakitan Tulangan

Setelah tahap perendaman selesai sesuai dengan rencana maka dilanjutkan ke tahap berikutnya yaitu perakitan tulangan. Berikut gambar rencana tulangan yang digunakan.



**Gambar 4.1 Detail Penulangan Balok Tulangan Baja**



**Gambar 4.2 Detail Penulangan Balok Tulangan Basalt**

Pada penelitian ini, benda uji balok menggunakan dimensi sebesar  $104 \times 15 \times 20$  cm. Penulangan benda uji tulangan melintang digunakan tulangan dengan diameter 8 mm ulir. Untuk benda uji yang menggunakan tulangan basalt digunakan tulangan konvensional sebagai tulangan tekan lalu tulangan basalt sebagai tulangan tarik karena pada penelitian ini terfokus pada kinerja lentur yang di mana saat pengujian akan memaksimalkan kinerja tulangan tarik. Tulangan geser digunakan diameter 6 mm polos dengan jarak antar tulangan 10 cm. Digunakannya tulangan geser agar dapat mencegah gaya geser pada benda uji.

d. Pembuatan Bekisting Balok

Bekisting untuk membuat balok menggunakan bahan utama *multiplex* dengan memiliki ketebalan 18 mm. Untuk memperkuat bagian sisi pada bekisting, digunakan kayu reng dengan ketebalan 30 mm. Proses pembuatan bekisting ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia.

2. Tahap II (Pemeriksaan Material)

Pada tahapan pemeriksaan material dalam penelitian ini terdapat beberapa pengujian, untuk lebih jelasnya dapat dilihat berikut ini.

a. Pengujian Agregat Halus

- 1) Pengujian Berat Jenis Agregat Halus.
  - 2) Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus.
  - 3) Pengujian Kandungan Lumpur (Lolos ayakan no.200).
  - 4) Pengujian Berat Volume Agregat Halus.
- b. Pengujian Agregat Kasar
- 1) Uji Berat Jenis Agregat Kasar dan Penyerapan Air.
  - 2) Uji Modulus Halus Butir Agregat Kasar.
  - 3) Uji Berat Volume Agregat Kasar.
- c. Pengujian Kuat Tarik Tulangan Beton
- 1) Tulangan Korosi Baja
  - 2) Tulangan Korosi Basalt (BFRP)
3. Tahap III (*Mix Design*)
- Dalam pembuatan beton bertulang, tentu rencana percobaan campuran beton (*trial mix design*) harus ditentukan. Untuk penentuan rencana percobaan campuran beton ini menggunakan acuan dari SNI 03-2834-2000. Dalam acuan ini dapat diketahui kadar atau jumlah kebutuhan dari agregat halus, agregat kasar, air, dan semen. Berikut merupakan rencana campuran beton:
- a. Kuat tekan beton rencana 22 Mpa.
  - b. Semen *portland* tipe 1.
  - c. Tinggi slump diisyaratkan  $10 \pm 2$  cm.
  - d. Ukuran butir agregat kasar 20 mm.
4. Tahap IV (Pembuatan Benda Uji)
- Pada saat setelah menyelesaikan tahap i-iv maka tahapan selanjutnya yaitu membuat benda uji, namun sebelum membuat benda uji langkah pertama yang harus dilakukan adalah membuat bekisting yang sesuai dengan dimensi benda uji balok yang telah direncanakan. Kemudian dilakukan peletakan tulangan beton dengan posisi dan jarak sesuai dengan yang sudah direncanakan. Pembuatan benda uji ini sebanyak 8 buah balok beton bertulang dengan dimensi 104 x 15 x 20 cm. Benda uji yang menggunakan baja tulangan konvensional terdapat 4 buah dan 4 buah lainnya menggunakan tulangan basalt

termasuk didalamnya terdapat 2 benda uji beton bertulangan konvensional dan 2 benda uji beton bertulangan basalt sebagai kontrol.

5. Tahap V (Perawatan Benda Uji)

Perawatan benda uji beton harus terus dirawat agar benda uji selalu dalam kondisi basah atau lembab sampai selama 1 hari sebelum dilakukannya pengujian di hari ke-28 agar mutu beton terjaga. Cara perawatan beton yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut :

- a. Beton Silinder, direndam dalam air yang ada pada kolam Laboratorium.
- b. Beton Balok, menyelimuti permukaan dengan menggunakan karung goni dan dilakukan penyiraman setiap pukul 2 siang.

6. Tahap VI (Pengujian Benda Uji)

Dalam pengujian benda uji ini terdapat beberapa teknis yang harus dipenuhi. Berikut merupakan teknis pengujian lentur beton.

a. Benda uji

- 1) SNI 03-2493-1991 untuk balok bertulang uji lentur harus memiliki panjang minimal empat kali lebar balok, tinggi balok lebih besar dari lebar balok untuk lebar balok 150 mm;
- 2) Semua bidang permukaan harus rata dan bebas dari cacat goresan, lubang-lubang, dan lekukan-lekukan;
- 3) Bidang-bidang samping harus tegak lurus terhadap bidang atas dan bidang bawahnya.

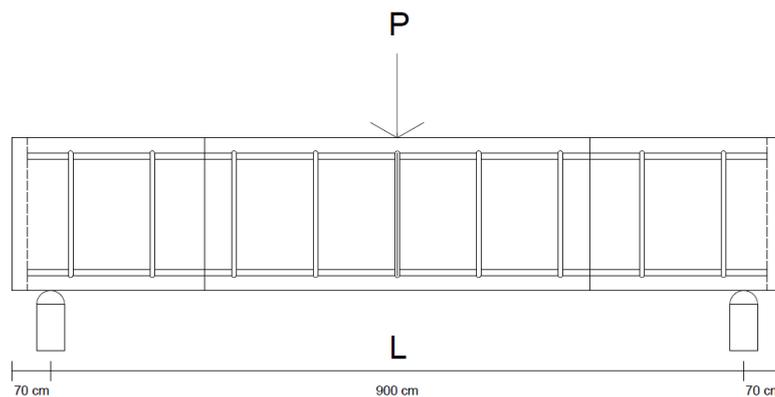
b. Persiapan Pengujian

Persiapan pengujian harus memenuhi ketentuan sebagai berikut.

- 1) Mesin uji dan blok-blok tumpuan disiapkan sehingga jarak sesuai dengan Ayat 2.2.2 butir 2 sub butir 2;
- 2) Balok uji diletakan simetris atas kedua blok tumpuan dengan kedua sisi samping bidang bekas cetakan sebagai bidang atas dan bidang bawah;
- 3) Blok beban diletakan tepat di tengah-tengah antara kedua blok tumpuan pada posisi sejajar;

- 4) Blok beban diturunkan perlahan-lahan sampai menempel pada bidang atas balok, dan memberikan beban sebesar 3 % sampai 6 % beban maksimum yang diperkirakan dapat dicapai;
  - 5) Celah-celah antara permukaan balok uji dengan permukaan blok beban dan blok-blok tumpuan diamati dan diukur dengan alat peraba, bila terdapat celah yang lebih besar dari 0,38 mm maka pada bagian tersebut balok uji harus digerinda atau diratakan dengan cara diberi kaping;
  - 6) Celah yang besarnya antara 0,10 mm sampai 0,38 dapat dihilangkan dengan digerinda, diberi kaping, atau dipasang pita kulit sepanjang bidang permukaan blok;
  - 7) Tidak boleh dilakukan penggerindaan ke arah memanjang blok uji.
- c. Perhitungan Momen Lentur

Sebelum menghitung reaksi tumpuan, berat sendiri beton, dan momen lentur hitung terlebih dahulu beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton. Beban maksimum akan didapatkan melalui pengujian lentur yang dilakukan pada balok beton bertulang. Pengujian lentur balok beton bertulang akan menggunakan beban terpusat atau beban titik yang dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 4.2 di bawah ini.



**Gambar 4.3 Ilustrasi Pengujian Lentur Balok**

Keterangan :

P = Beban yang diterima (kN)

L = Panjang bentang (m)

Hasil pengujian akan mendapatkan hasil beban maksimum yang dapat diterima benda uji, lalu perhitungan pertama yang akan dilakukan yaitu menghitung berat sendiri beton dengan menggunakan Persamaan berikut.

$$W = \gamma_c \times v \quad (4.1)$$

$$Q_{dl} = W / L \quad (4.2)$$

$$M_w = \frac{1}{8} \times Q_{dl} \times L^2 \quad (4.3)$$

Keterangan:

$Q_{dl}$  = Gaya berat balok beton (kN/m);

$\gamma_c$  = Berat jenis beton (kN/m<sup>3</sup>)

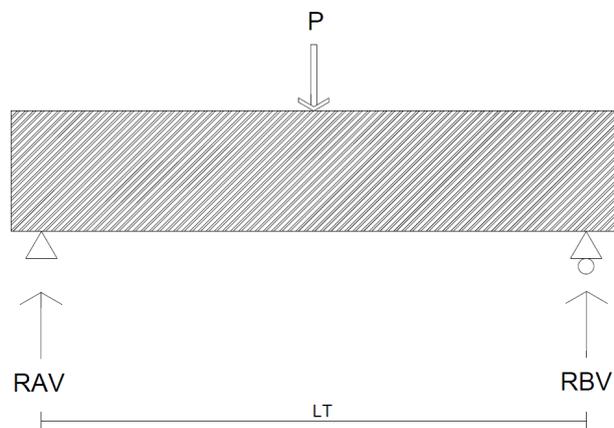
$v$  = Volume beton (m<sup>3</sup>)

$W$  = Berat balok beton (kN)

$L$  = Panjang bentang (m)

$M_w$  = Momen akibat berat balok (kNm)

Untuk menghitung reaksi tumpuan, dilakukan analisis berdasarkan Gambar (4.4) berikut.



**Gambar 4.4 Ilustrasi Reaksi Tumpuan**

Keterangan :

$P$  = Beban yang diterima (kN)

$L_T$  = Panjang bentang antar tumpuan (m)

Selanjutnya, dilakukan perhitungan reaksi tumpuan dengan menggunakan Persamaan (4.2) berikut.

$$R_A = R_B = (P \times (\frac{1}{2} \times L_T)) / L_T \quad (4.4)$$

Keterangan =

$R_A$  = Reaksi tumpuan di A (kN);

$R_B$  = Reaksi tumpuan di B (kN).

Setelah menghitung berat sendiri balok beton dan reaksi tumpuan, maka dapat menghitung momen maksimum yang terjadi pada balok beton bertulang menggunakan Persamaan berikut (4.5).

$$M_{maks} = \frac{1}{4} \times P_{maks} \times L_T + M_w \quad (4.5)$$

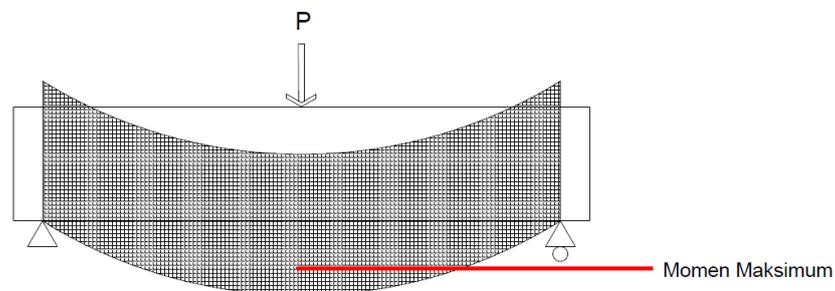
Keterangan :

$M_{maks}$  = Momen maksimum (kNm);

$P_{maks}$  = Beban maksimum yang diterima balok (kN);

$L_T$  = Panjang bentang antar tumpuan (m)

$M_w$  = Momen akibat berat balok (kNm)



**Gambar 4.5 Ilustrasi Lendutan Balok Pada Momen Maksimum**

g. Hasil Pengujian

Hasil pengujian merupakan jawaban momen maksimum dari balok sederhana yang dibebani terpusat.

7. Tahap VII (Analisis Data)

a. Analisis Kuat Tarik Tulangan Beton

Analisis ini memiliki tujuan untuk mendapatkan nilai tegangan leleh dan tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh tulangan beton sehingga

didapatkan hasil mutu tulangan sudah sesuai atau belum terhadap yang sudah diisyaratkan. Pengujian ini menggunakan alat yang bernama *Universal Testing Machine* (UTM).

b. Analisis Momen Lentur Beton

Pada analisis momen maksimum ini menggunakan data berupa nilai beban maksimum yang mengakibatkan keruntuhan balok beton, panjang bentang balok, lebar balok rata-rata penampang runtuh, tinggi balok rata-rata penampang runtuh bertulang lalu dicari momen lentur balok beton bertulang dengan menggunakan persamaan (4.1) hingga (4.5).

8. Tahap VIII (Pembahasan)

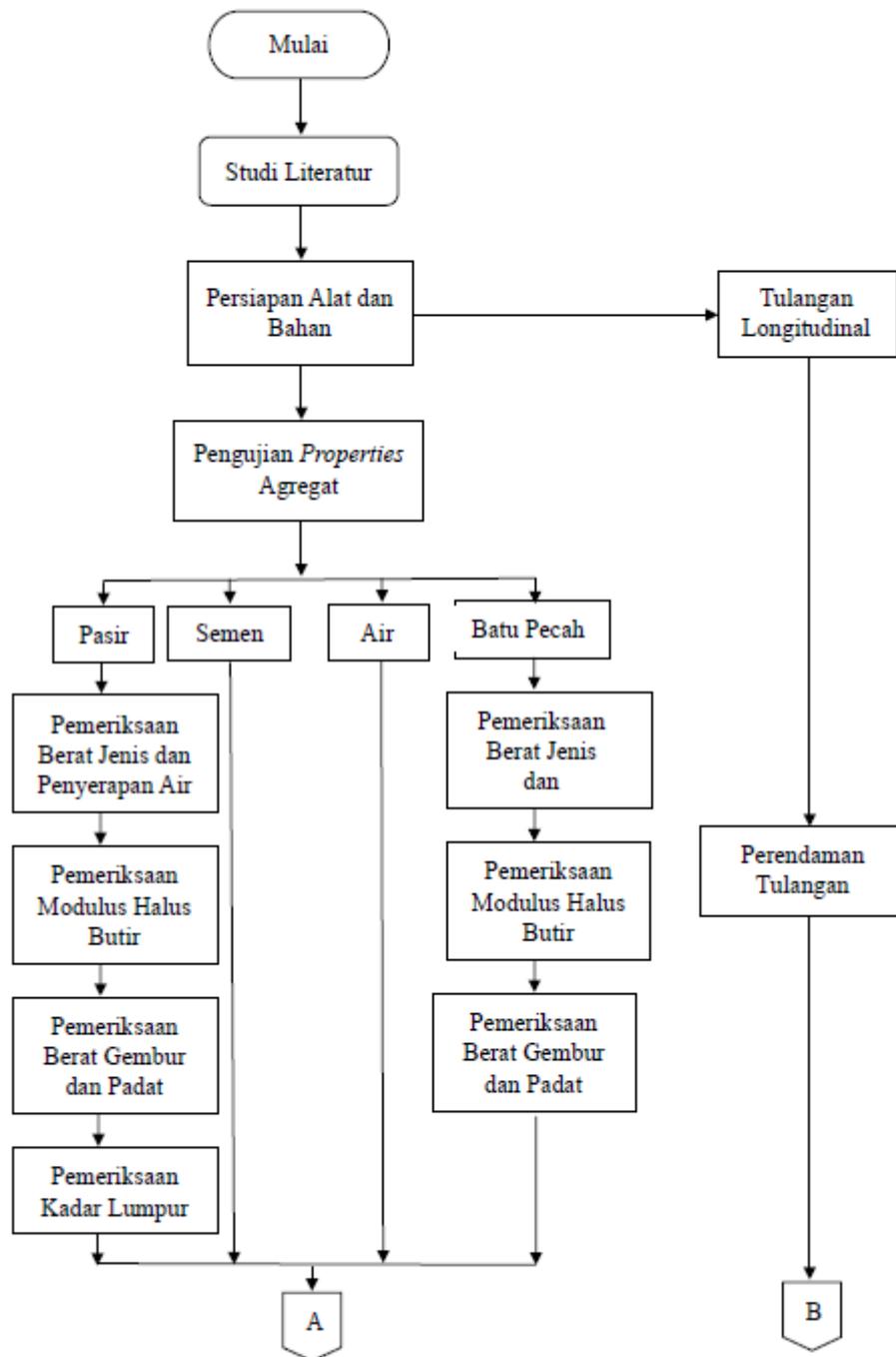
Pada tahap ini dilakukan pembahasan terhadap hasil perhitungan momen maksimum tulangan konvensional maupun basalt. Kedua momen maksimum tersebut kemudian dibandingkan untuk membuktikan bahwa tulangan basalt dapat menggantikan tulangan konvensional dalam struktur balok beton bertulang.

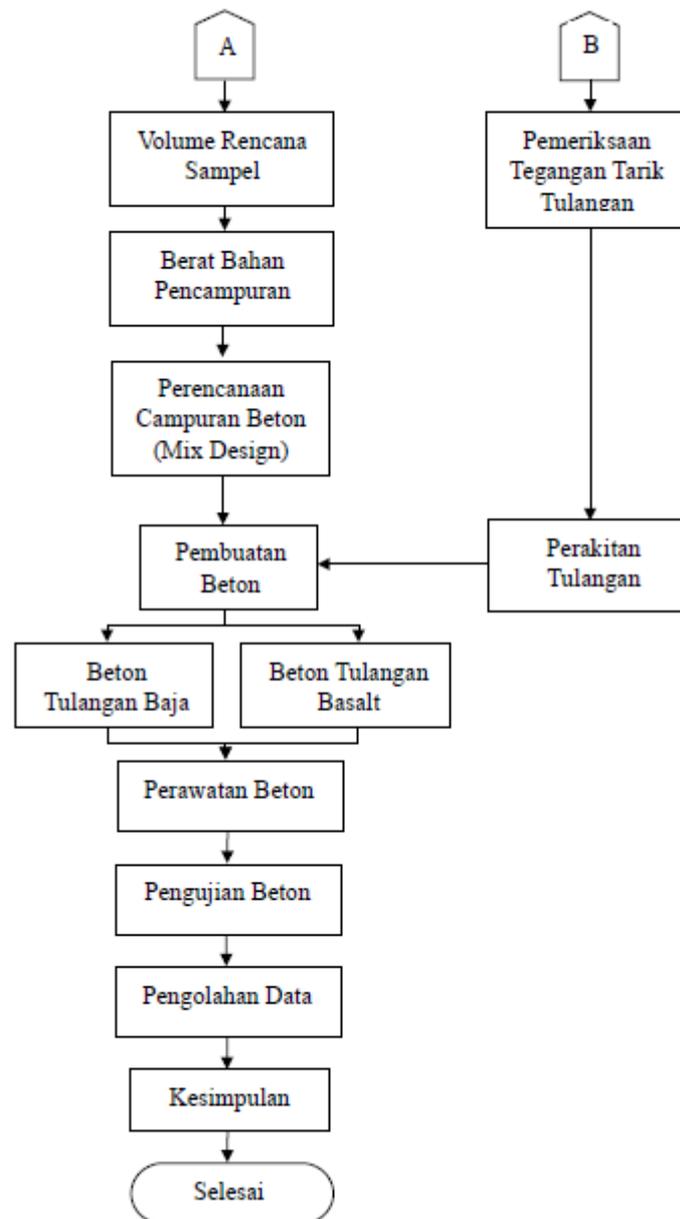
9. Tahap IX (Penarikan Kesimpulan)

Tahapan terakhir ini semua data dan hasil sudah didapatkan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa apakah tulangan basalt (BFRP) dapat menjadi pengganti dari tulangan baja konvensional atau tidak .

Adapun langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini dimasukkan ke dalam bentuk *flowchart* atau bagan alir penelitian dan dapat dilihat pada bagan alir berikut.

#### 4.9 Bagan Alir Penelitian





**Gambar 4.6 Bagan Alir Penelitian**

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Pengujian Material

Pengujian material dilakukan untuk mendapatkan karakteristik pada tiap-tiap material yang akan digunakan sebagai bahan campuran beton. Hasil dari pengujian material ini perlu dianalisis untuk mengetahui apakah sudah mencapai syarat minimum campuran beton pada SNI 03-2843-2000.

##### 5.1.1 Agregat Halus Pasir Merapi

Uji agregat halus yang dilakukan pada penelitian ini di antaranya uji berat jenis dan penyerapan, uji berat volume padat/gembur, uji modulus halus butir, dan uji kandungan lumpur (uji lolos saringan No.200).

##### 1. Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air

Hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.1 di bawah ini.

**Tabel 5. 1 Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air**

Uraian		Hasil Pengamatan		Rata-rata (gram)
		Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak	(Bk)	483	490	486,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)		500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air	(Bt)	983	987	985
Berat piknometer berisi air	(B)	673	673	673
Berat jenis curah $Bk/(B+500-Bt)$		2,542	2,634	2,588
Berat jenis jenuh kering muka (SSD) $500/(B+500-Bt)$		2,632	2,688	2,660
Berat jenis semu $Bk/(B+Bk-Bt)$		2,792	2,784	2,788
Penyerapan air $(500-Bk)/Bk \times 100\%$		3,520	2,041	2,780

Pengujian ini memperoleh hasil berat jenis kering muka (SSD) agregat halus dengan nilai sebesar 2,660 gram serta didapatkan nilai rasio penyerapan air sebesar 2,780%. Nilai ini memenuhi ketentuan berat jenis dan penyerapan air sesuai dengan standar SNI 03-1968-1990, untuk berat jenis minimal 2,5 gram dan penyerapan air maksimal 3%. Dari hasil analisis di atas, nilai SSD dapat digunakan untuk perencanaan campuran beton (*mix design*).

## 2. Uji Modulus Halus Butir

Uji modulus halus butir ini bertujuan untuk mendapatkan angka gradasi agregat halus. Hasil pengujian serta analisis modulus halus butir agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2 di bawah ini.

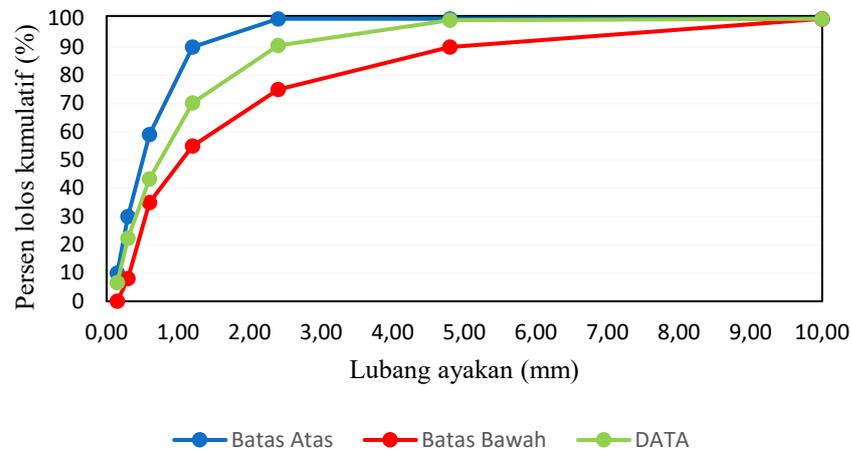
**Tabel 5.2 Uji Modulus Halus Butir Agregat Halus**

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)		Berat Tertinggal (%)		Berat Tertinggal Kumulatif (%)		Persen Lolos Kumulatif (%)		Rata-rata
	Sampel		Sampel		Sampel		Sampel		
	1	2	1	2	1	2	1	2	
40,00	0	0	0	0	0	0	100	100	100
20,00	0	0	0	0	0	0	100	100	100
10,00	0	0	0	0	0	0	100	100	100
4,80	11	9	0,55	0,45	0,55	0,45	99,45	99,55	99,50
2,40	176	179	8,85	9,01	9,41	9,47	90,59	90,53	90,56
1,20	402	405	20,22	20,39	29,63	29,86	70,37	70,14	70,26
0,60	537	534	27,01	26,89	56,64	56,75	43,36	43,25	43,31
0,3	412	424	20,72	21,35	77,36	78,10	22,64	21,90	22,27
0,15	315	308	15,85	15,51	93,21	93,61	6,79	6,39	6,59
Sisa	135	127	6,79	6,39	100	100	0,00	0,00	0,00
Jumlah	1988	1986	100	100	266,8	268,23			

Dari hasil Tabel 5.2 di atas, didapatkan nilai modulus halus butir sebesar :

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{(\text{Berat Tertinggal Sampel 1} + \text{Berat Tertinggal Sampel 2})}{200} \\
 &= \frac{(266,80 + 268,23)}{200} \\
 &= 2,675
 \end{aligned}$$

Nilai modulus halus butir yang didapat dalam pengujian ini sebesar 2,675. Nilai ini memenuhi ketentuan modulus halus butir (MHB) sesuai dengan standar SNI 03-1968-1990, yakni berkisar antara 1,5 – 3,8. Dengan demikian, pasir yang digunakan dianggap memadai dan memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan oleh SNI. Berikut adalah Gambar 5.1 Gradasi Daerah II



**Gambar 5.1 Gradasi Daerah II**

3. Uji Kandungan Lumpur (Lolos Saringan No. 200)

Berikut merupakan hasil analisis kandungan lumpur agregat halus pada pengujian ini, terdapat pada Tabel 5.3 di bawah ini.

**Tabel 5.3 Uji Kandungan Lumpur (Lolos Saringan No. 200)**

Uraian		Sampel		Rata-rata
		1	2	
Berat agregat kering oven, gram	(W1)	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci, gram	(W2)	483	475	479
Berat yang lolos ayakan No. 200		3,4	5	4,2%

Hasil analisis dari pengujian ini didapatkan hasil kandungan lumpur pada agregat halus Merapi sebesar 4,2%. Angka yang didapatkan telah memenuhi syarat batas maksimal kandungan lumpur sebesar 5%. Semakin tinggi nilai kandungan lumpur pada agregat membuat ikatan antar agregat tidak maksimal serta dapat menurunkan kualitas beton.

4. Uji Berat Volume

a. Uji Berat Isi Gembur Agregat Halus

Hasil dari pengujian terdapat pada Tabel 5.4 berikut.

**Tabel 5.4 Uji Berat Isi Gembur Agregat Halus**

Uraian	Sampel		Rata-rata
	1	2	
Berat tabung (w1), gram	10663	10658	10660,5
Berat tabung + agregat SSD (w2), gram	17920	17911	17515,5
Berat agregat (w3), gram	7257	7253	6855
Volume tabung (v), cm <sup>3</sup>	5910,7124	5826,0497	5868,38
Berat volume gembur, = (w3/v) gram/cm <sup>3</sup>	1,2278	1,2449	1,2364

Berdasarkan Tabel 5.4 di atas didapatkan hasil berat volume gembur pada agregat kasar sebesar 1,2364 gram/cm<sup>3</sup>, nilai tersebut telah sesuai dengan syarat SNI 03-4804-1998 yang menyebutkan bahwa nilai berat volume gembur diisyaratkan antara 1,2-1,7.

b. Uji Berat Isi Padat Agregat Halus

Hasil dari pengujian ini terdapat pada Tabel 5.5 berikut.

**Tabel 5.5 Uji Berat Isi Padat Agregat Halus**

Uraian	Sampel		Rata-rata
	1	2	
Berat tabung (w1), gram	10663	10658	10660,5
Berat tabung + agregat SSD (w2), gram	19194	19187	19190,5
Berat agregat (w3), gram	8531	8529	8530
Volume tabung (v), cm <sup>3</sup>	5910,7124	5826,0497	5868,381
Berat volume gembur, = (w3/v) gram/cm <sup>3</sup>	1,4433	1,4639	1,4536

Berdasarkan Tabel 5.5 di atas didapatkan hasil berat volume gembur pada agregat kasar sebesar 1,4536 gram/cm<sup>3</sup>, nilai tersebut telah sesuai dengan syarat SNI 03-4804-1998 yang menyebutkan bahwa nilai berat volume gembur diisyaratkan antara 1,2-1,7.

### 5.1.2 Uji Agregat Kasar

Uji agregat kasar yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya adalah uji berat jenis dan penyerapan air, uji modulus halus butir, dan uji berat volume. Pengujian ini mendapatkan hasil sebagai berikut.

1. Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air

Hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar terdapat pada tabel 5.6 dibawah ini.

**Tabel 5.6 Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar**

Uraian		Hasil Pengamatan (gram)		Rata-rata (gram)
		Sampel 1	Sampel 2	
Berat kerikil kering mutlak	(Bk)	4981	4988	4984,5
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD)	(Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air	(Ba)	3110	3116	3113
Berat jenis curah Bk/(Bj-Ba)		2,635	2,648	2,642
Berat jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/(Bj-Ba)		2,646	2,654	2,650
Berat jenis semu Bk/(Bk-Ba)		2,662	2,665	2,663
Penyerapan air (Bj-Bk)/Bk x 100%		0,381	0,241	0,311%

Pengujian ini memperoleh hasil berat jenis kering muka (SSD) agregat kasar dengan nilai sebesar 2,650 serta didapatkan nilai rasio penyerapan air sebesar 0,311 %. Dari hasil analisis di atas, nilai SSD dapat digunakan untuk perencanaan campuran beton (*mix design*).

2. Uji Modulus Halus Butir

Hasil pengujian serta analisis modulus halus butir agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut ini.

**Tabel 5.7 Uji Modulus Halus Butir Agregat Kasar**

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)		Berat Tertinggal (%)		Berat Tertinggal Kumulatif (%)		Persen Lolos Kumulatif (%)		Rata-rata
	Sampel		Sampel		Sampel		Sampel		
	1	2	1	2	1	2	1	2	
40,00	0	0	0	0	0	0	100	100	100
20,00	74	82	1,48	1,64	1,48	1,64	98,52	98,36	98,44
10,00	3137	3154	62,77	63,12	64,25	64,76	35,75	35,24	35,50
4,80	1664	1649	33,29	33,00	97,54	97,76	2,46	2,24	2,35
2,40	88	73	1,76	1,46	99,30	99,22	0,70	0,78	0,74
1,20	7	11	0,14	0,22	99,44	99,44	0,56	0,56	0,56
0,60	0	0	0,00	0,00	99,44	99,44	0,56	0,56	0,56
0,3	0	0	0,00	0,00	99,44	99,44	0,56	0,56	0,56
0,15	0	0	0,00	0,00	99,44	99,44	0,56	0,56	0,56
Sisa	28	28	0,56	0,56	100	100	0,00	0,00	0,00
Jumlah	4998	4997	100,00	100,00	660,32	661,14			

Dari hasil tabel 5.5 di atas, didapatkan nilai modulus halus butir sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{(660,32+661,14)}{200} \\ &= 6,607 \end{aligned}$$

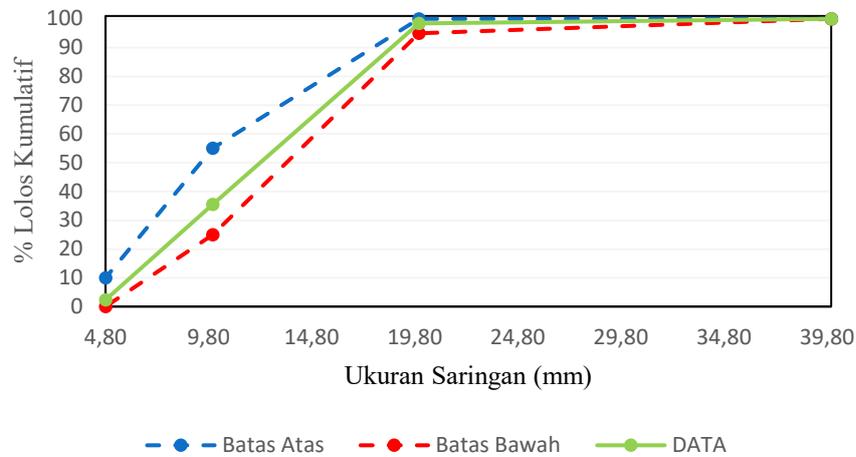
Berdasarkan hasil perhitungan di atas, diketahui bahwa modulus halus butir agregat kasar asli rata-rata adalah 6,607. Selain itu, pengujian ini juga digunakan untuk menentukan gradasi agregat kasar yang digunakan. Adapun penentuan gradasi tersebut berdasarkan Tabel 5.8 sebagai berikut.

**Tabel 5.8 Gradasi Agregat Kasar**

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan/Besar Butiran Maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	25-55
4,8	0-5	0-10

Sumber : SNI 2834 (2000)

Dari tabel 5.8 di atas, kemudian dibuat kurva gradasi agregat kasar yang dapat dilihat pada Gambar 5.2 dan Gambar 5.3 sebagai berikut.



**Gambar 5. 2 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm**

3. Uji Berat Volume Agregat Kasar
  - a. Uji Berat Isi Gembur Agregat Kasar

Hasil pengujian berat isi gembur agregat kasar terdapat pada Tabel 5. berikut.

**Tabel 5.9 Uji Berat Isi Gembur Agregat Kasar**

Uraian	Sampel		Rata-rata
	1	2	
Berat tabung (w1), gram	10665	10658	10661,5
Berat tabung + agregat SSD (w2), gram	17931	17884	17907,5
Berat agregat (w3), gram	7266	7226	7246
Volume tabung (v), cm <sup>3</sup>	5910,7124	5826,0497	5868,38
Berat volume gembur, = (w3/v) gram/cm <sup>3</sup>	1,2293	1,2403	1,2347

Berdasarkan Tabel 5.9 di atas didapatkan hasil berat volume gembur pada agregat kasar sebesar 1,2347 gram/cm<sup>3</sup>, nilai tersebut sudah sesuai dengan syarat SNI 03-4804-1998 yang menyebutkan bahwa nilai berat volume gembur diisyaratkan 1,2-1,7.

- b. Uji Berat Isi Padat Agregat Kasar

Hasil dari pengujian berat isi padat agregat kasar terdapat pada Tabel 5.10 berikut.

**Tabel 5.10 Uji Berat Isi Padat Agregat Kasar**

Uraian	Sampel		Rata-rata
	1	2	
Berat tabung (w1), gram	10665	10658	10661,5
Berat tabung + agregat SSD (w2), gram	18954	18893	18923,5
Berat agregat (w3), gram	8289	8235	8262
Volume tabung (v), cm <sup>3</sup>	5910,712	5826,050	5868,38
Berat volume gembur, = (w3/v) gram/cm <sup>3</sup>	1,402	1,413	1,408

Berdasarkan tabel 5.10 di atas didapatkan hasil berat volume padat agregat kasar sebesar 1,408 gram/cm<sup>3</sup>, nilai tersebut sudah sesuai dengan syarat SNI 03-4804-1998 yang menyebutkan bahwa nilai berat volume padat diisyaratkan antara 1,2-1,7.

### 5.1.3 Efek Korosi Tulangan

Tulangan beton pada saat terpapar oleh air laut akan mengalami pengkorosian dan akibat dari korosi tersebut akan mengubah mutu dari tulangan. Tulangan yang terkorosi akan mengalami perubahan mutu, berat, dan diameter. Namun pada tulangan basalt akan sedikit berbeda dalam pengkorosiannya jika dilihat langsung, berikut merupakan gambar perbedaan efek korosi pada tulangan basalt dan tulangan baja di waktu hari ke 28 perendaman dengan media air laut.



**Gambar 5.3 Efek Korosi Pada Tulangan**

Pada gambar di atas, untuk garis yang berwarna merah adalah tulangan basalt dan garis berwarna kuning adalah tulangan baja. Berdasarkan gambar di atas, tulangan basalt memiliki efek korosi yang lebih sedikit dibandingkan dengan tulangan baja.

**Tabel 5.11 Rekapitulasi Pengukuran Tulangan Setelah Korosi dan Sebelum Korosi**

<b>Benda Uji</b>	<b>Umur Rendaman (Hari)</b>	<b>Diameter (mm)</b>	<b>Luas (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Berat (gram)</b>
Tul. Baja Normal	-	7,85	48,418	300
Tul. Baja Korosi	28	7,3	41,871	298
Tul. Basalt Normal	-	7,85	48,418	80
Tul. Basalt Korosi	28	7,65	45,982	81

Berdasarkan Tabel 5.11 di atas, dapat diketahui bahwa tulangan baja korosi mengalami penurunan diameter, luas, dan berat. Untuk tulangan basalt korosi juga

mengalami penurunan diameter dan luas namun beratnya justru bertambah. Hal ini merupakan salah satu pembuktian dari sifat tulangan basalt yang tahan terhadap korosi.

#### 5.1.4 Uji Tarik Tulangan

Tulangan yang akan digunakan dalam balok beton bertulang perlu dilakukan uji tarik terlebih dahulu. Tulangan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan ukuran D8 dan P6.

##### 1. Uji Tarik Tulangan Baja Konvensional D8 Tidak Korosi

Pengujian ini menghasilkan data nilai beban leleh dan beban ultimit yang selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan nilai tegangan leleh dan nilai tegangan ultimit dari tulangan baja konvensional D8. Berikut merupakan analisis pengujian tarik tulangan D8.

$$\text{Diameter} = 7,85 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 7,85^2 \\ &= 48,418 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &= 2720 \text{ kgf} \\ &= 2720 \times 9,81 \\ &= 26683,2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_y &= 1940 \text{ kgf} \\ &= 1940 \times 9,81 \\ &= 19031,4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_u &= P_u / \text{Luas} \\ &= 26683,2 / 48,418 \\ &= 551,105 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_y &= P_y / \text{Luas} \\ &= 19031,4 / 48,418 \\ &= 393,0672 \text{ MPa.} \end{aligned}$$

Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D8 setelah dianalisis mendapatkan nilai tegangan leleh sebesar 393,0672 MPa dengan beban leleh awal sebesar

19031,4 N, sedangkan untuk nilai tegangan ultimit sebesar 551,105 MPa dengan nilai beban ultimit sebesar 26683,2 N.

## 2. Uji Tarik Tulangan Baja Konvensional D8 Korosi

Pengujian ini menghasilkan data nilai beban leleh dan beban ultimit yang selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan nilai tegangan leleh dan nilai tegangan ultimit dari tulangan baja konvensional D8 korosi. Berikut merupakan analisis pengujian tarik tulangan D8.

$$\text{Diameter} = 7,3 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 7,3^2 \\ &= 41,871 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &= 2390 \text{ kgf} \\ &= 2390 \times 9,81 \\ &= 23445,9 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_y &= 1710 \text{ kgf} \\ &= 1710 \times 9,81 \\ &= 16775,1 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_u &= P_u / \text{Luas} \\ &= 26683 / 41,871 \\ &= 559,959 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_y &= P_y / \text{Luas} \\ &= 16775,1 / 41,871 \\ &= 400,640 \text{ MPa.} \end{aligned}$$

Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D8 korosi setelah dianalisis mendapatkan nilai tegangan leleh sebesar 400,640 MPa dengan beban leleh awal sebesar 16775,1 N, sedangkan untuk nilai tegangan ultimit sebesar 559,959 MPa dengan nilai beban ultimit sebesar 23445,9 N.

## 3. Uji Tarik Tulangan Basalt D8 Tidak Korosi

Pengujian ini menghasilkan data nilai beban leleh dan beban ultimit yang selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan nilai tegangan leleh dan nilai

tegangan ultimit dari tulangan basalt D8. Berikut merupakan analisis pengujian tarik tulangan D8.

$$\text{Diameter} = 7,85 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 7,85^2 \\ &= 48,418 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &= 1800 \text{ kgf} \\ &= 1800 \times 9,81 \\ &= 17658 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_u &= P_u / \text{Luas} \\ &= 17658 / 48,418 \\ &= 364,702 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Hasil pengujian kuat tarik tulangan basalt D8 tidak korosi setelah dianalisis mendapatkan nilai tegangan ultimit sebesar 364,702 MPa dengan nilai beban ultimit sebesar 17658 N.

#### 4. Uji Tarik Tulangan Basalt D8 Korosi

Pengujian ini menghasilkan data nilai beban leleh dan beban ultimit yang selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan nilai tegangan leleh dan nilai tegangan ultimit dari tulangan basalt D8 korosi. Berikut merupakan analisis pengujian tarik tulangan D8.

$$\text{Diameter} = 7,65 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 7,65^2 \\ &= 45,982 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &= 1800 \text{ kgf} \\ &= 1800 \times 9,81 \\ &= 17658 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_u &= P_u / \text{Luas} \\ &= 17658 / 45,982 \\ &= 362,686 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Hasil pengujian kuat tarik tulangan basalt D8 tidak korosi setelah dianalisis mendapatkan nilai tegangan ultimit sebesar 364,702 MPa dengan nilai beban maksimal sebesar 17658 N.

**Tabel 5.12 Rekapitulasi Pengujian Tarik Tulangan**

Benda Uji Tulangan	Luas (mm <sup>2</sup> )	Py		Pu		fy	fu
		kgf	N	kgf	N	MPa	MPa
Konvensional Tidak Korosi	48,418	1940	19031,4	2720	26683,2	393,067	551,104
Konvensional Korosi	41,807	1710	16775,1	2390	23445,9	400,64	559,959
Basalt Tidak Korosi	48,418	-	-	1800	17658	-	364,702
Basalt Korosi	45,982	-	-	1700	16677	-	362,686

Pengujian tarik tulangan basalt tanpa korosi ini memberikan hasil yang kurang memuaskan. Menurut penelitian Jingming dkk (2017) tulangan basalt D8 menghasilkan tegangan ultimit sebesar 1080 MPa. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan penulis hanya mendapatkan sebesar 364,702 MPa.

Hal ini dikarenakan mesin uji tarik tidak dapat memberikan gaya tarik secara maksimal sehingga tulangan tidak putus. Penyebabnya adalah saat tulangan basalt dicengkram pada mesin uji tarik tidak dapat tercengkram dengan maksimal yang mengakibatkan los pada tulangan. Hasil pengujian di atas didapat dengan cara memberi pengunci pada tulangan sehingga meminimalkan terjadinya los tulangan pada saat diuji tarik.



**Gambar 5.4 Pengujian Tarik Tulangan Basalt**



**Gambar 5.5 Tambahan Pengunci Tulangan Basalt**



**Gambar 5.6 Bekas Cengkraman Pada Tulangan Basalt Akibat Los Dari Mesin**

Penambahan pengunci pada tulangan basalt ini sedikit membantu pada saat pengujian. Meskipun tidak memberikan dampak yang signifikan, tetapi penambahan pengunci ini mengurangi los yang terjadi pada tulangan basalt pada saat dilakukan uji tarik. Penambahan pengunci ini berperan penting dalam didapatkannya nilai beban maksimum walaupun nilai tersebut tidak maksimal dan tidak bisa dijadikan sebagai acuan dalam perhitungan selanjutnya.

## **5.2 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)**

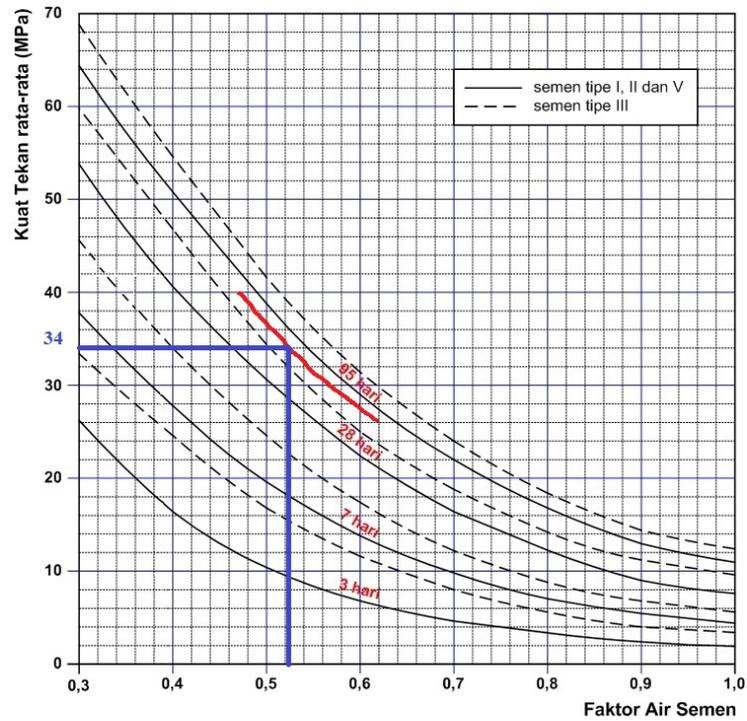
Perencanaan campuran beton (*mix design*) menggunakan SNI 03-2834-2000. Adapun perhitungan perencanaan campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana ( $f'c$ ) adalah sebesar 22 MPa dengan benda uji silinder.
2. Semen yang digunakan adalah semen portland tipe I dengan merek Semen Gresik berjenis PCC.
3. Berdasarkan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dan kasar didapatkan berat jenis agregat halus adalah 2,66 dan berat jenis agregat kasar adalah 2,65.

4. Berdasarkan pengujian analisa saringan agregat kasar didapatkan ukuran agregat maksimum adalah sebesar 20 mm.
5. Berdasarkan pengujian analisa saringan agregat halus didapatkan susuan butir agregat halus masuk dalam gradasi daerah II.
6. Benda uji silinder yang digunakan adalah 3 buah, maka berdasarkan Tabel 3.5 digunakan nilai margin (M) sebesar 12 MPa karena bila jumlah benda uji kurang dari 15 maka menggunakan nilai tambah kuat tekan rencana sebesar 12 MPa.
7. Menentukan kuat tekan beton rata-rata yang diinginkan.

$$\begin{aligned}f'_{cr} &= f'c + M \\ &= 22 + 12 \\ &= 34 \text{ MPa}\end{aligned}$$

8. Menentukan nilai faktor air semen (FAS)
  - a. Menurut Tabel 3.6 pada penggunaan semen Portland tipe I serta agregat kasar berbentuk batu pecah, saat umur beton 28 hari diketahui mendapatkan nilai kekuatan tekan beton sebesar 37 MPa pada benda uji silinder.
  - b. Faktor air semen didapat dengan menganalisis grafik yang telah ditentukan pada gambar 3.5. Untuk  $f'_{cr} = 34$  MPa penentuan nilai FAS terdapat pada Gambar 5.5 berikut.



Grafik 1 : Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas)  
(benda uji berbentuk Silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

### Gambar 5.7 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan FAS

Berdasarkan grafik di atas didapatkan nilai FAS sebesar 0,52. Selain itu, nilai FAS juga harus memenuhi persyaratan pada Tabel 3.8, karena beton diletakkan di luar ruangan yang terhindar dari hujan serta terik matahari langsung maka didapatkan nilai FAS maksimum sebesar 0,6. Pada penelitian ini penulis menggunakan nilai FAS yang terkecil yaitu 0,5.

#### 9. Menentukan kadar air yang dibutuhkan.

Kadar air dalam campuran beton ditentukan berdasarkan Tabel 3.7 dengan ukuran agregat kasar maksimum 20 mm berbentuk batu pecah dan nilai *slump* yang direncanakan sebesar  $10 \pm 2$  cm, sehingga masuk pada rentang *slump* 60-180 mm. Penentuan kadar air yang dibutuhkan menggunakan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 w &= \frac{2}{3} W_h + \frac{2}{3} W_k \\
 &= \frac{2}{3} 195 + \frac{2}{3} 225 \\
 &= 205 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

10. Perhitungan jumlah semen setiap 1 m<sup>3</sup> beton.

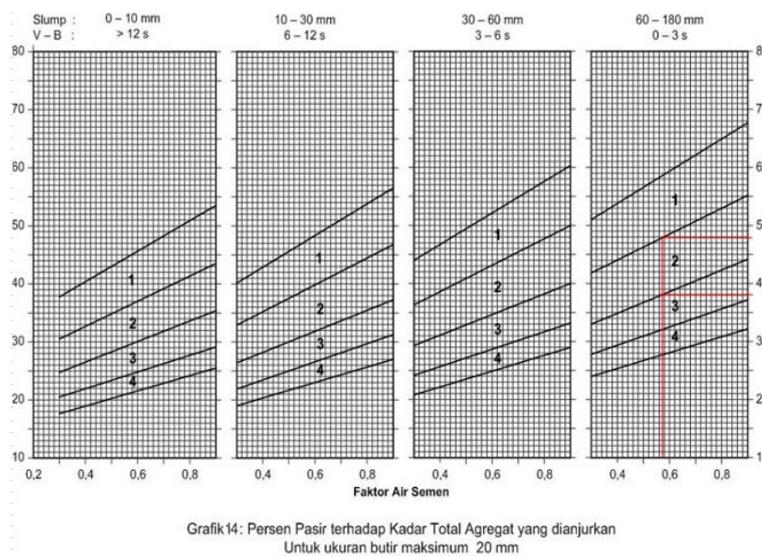
a. Kadar semen ditentukan melalui persamaan 3.22 seperti dibawah ini.

$$\begin{aligned} \text{Kadar semen} &= \frac{205}{0,52} \\ &= 394,23 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

b. Menurut Tabel 3.8 pada benda uji yang disimpa di luar ruangan terlindung dari hujan dan terik matahari langsung ditetapkan jumlah semen minimum per m<sup>3</sup> beton sejumlah 275 kg/m<sup>3</sup>.

11. Menentukan presentase agregat halus dan agregat kasar.

Presentase agregat halus ditetapkan berdasarkan Gambar 3.6, dengan menggunakan nilai slump kisaran 60 – 180 mm dan butiran agregat halus yang terdapat pada daerah gradasi 2, ditetapkan nilai presentase seperti Gambar 5.4 berikut ini.



**Gambar 5.8 Grafik Presentase Agregat Halus**

$$\begin{aligned} \text{Agregat Halus} &= \frac{47,8+38}{2} \times 100\% \\ &= 42,9\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agregat Kasar} &= 100\% - 42,9\% \\ &= 57,1\% \end{aligned}$$

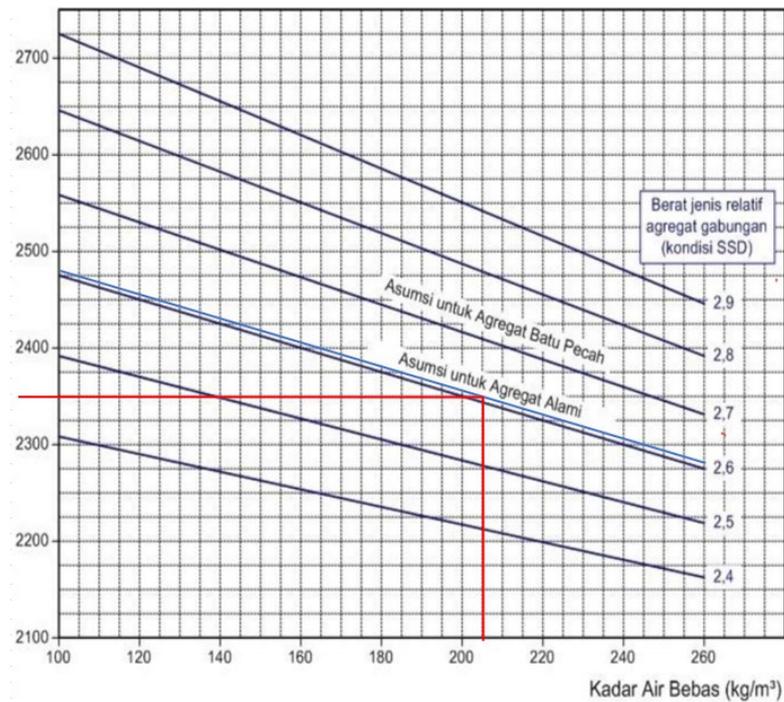
12. Menentukan berat jenis relatif agregat gabungan (kondisi SSD)

Berat jenis relatif gabungan dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} BJ_{gab} &= (\%Ag.Halus \times BJ_{Ag.halus}) + (\%Ag.Kasar \times BJ_{Ag.Kasar}) \\ &= (42,9\% \times 2,660) + (57,1\% \times 2,650) \\ &= 2,65 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

13. Menentukan berat isi beton.

Berdasarkan grafik pada Gambar 3.7 didapatkan nilai kadar air bebas sebesar  $205 \text{ kg/m}^3$  dan berat jenis agregat gabungan  $2,65 \text{ gram/cm}^3$ , maka dapat dicari nilai berat isi beton basah yang dipadatkan seperti pada Gambar 5.5 di bawah ini.



Grafik 16: Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang telah selesai dipadatkan

**Gambar 5.9 Grafik Berat Isi Beton**

Menurut grafik di atas, didapatkan nilai berat isi beton sebesar  $2350 \text{ kg/m}^3$ .

14. Menentukan kadar agregat dalam campuran beton.

Kadar agregat dalam campuran beton dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{Ag.gab}} &= W_{\text{beton}} - W_{\text{semen}} - W \\
 &= 2350 - 393,23 - 205 \\
 &= 1750,77 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

15. Menentukan kadar agregat halus dan agregat kasar dalam campuran beton.

Kadar agregat halus dan agregat kasar dihitung sebagai berikut.

a. Agregat halus

$$\begin{aligned}
 W_{\text{Ag.halus}} &= \% \text{Ag.halus} \times W_{\text{Ag.gab}} \\
 &= 42,9\% \times 1750,77 \\
 &= 751,08 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

b. Agregat kasar

$$\begin{aligned}
 W_{\text{Ag.kasar}} &= W_{\text{Ag.gab}} - W_{\text{Ag.halus}} \\
 &= 1750,77 - 751,08 \\
 &= 999,69 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

16. Proporsi Campuran per 1 m<sup>3</sup> beton.

Berdasarkan perhitungan sebelumnya, didapatkan susunan proporsi dalam 1 m<sup>3</sup> beton seperti di bawah ini.

- a. Semen = 394,23 kg
- b. Air = 205 kg
- c. Agregat halus = 751,08 kg
- d. Agregat kasar = 999,69 kg

17. Volume benda uji

Dalam penentuan komposisi campuran beton tiap-tiap benda uji diperlukan perhitungan volume. Perhitungan volume benda uji dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume silinder (d= 0,15 m; h= 0,3 m)} &= \frac{1}{4} \times d^2 \times h \\
 &= \frac{1}{4} \times 0,15^2 \times 0,3 \\
 &= 0,0053 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume balok (L= 1,04 m; b= 0,15 m; h= 0,20 m)} &= L \times b \times h \\
 &= 1,04 \times 0,15 \times 0,20 \\
 &= 0,0312 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

18. Hasil dari analisis campuran beton memerlukan penambahan nilai untuk mencegah kekurangan material campuran. Dalam penelitian ini penulis menggunakan angka penyusutan sebesar 25%. Pada benda uji silinder yang memiliki volume  $0,0053 \text{ m}^3$  dan benda uji balok dengan volume  $0,0312 \text{ m}^3$ , proporsi campuran yang diperlukan adalah sebagai berikut.

Material = proporsi/ $\text{m}^3$  x nilai penyusutan x volume

a. Proporsi benda uji silinder

i. Semen =  $394,23 \times 125\% \times 0,0053$

= 2,612 kg

ii. Air =  $205 \times 125\% \times 0,0053$

= 1,358 kg

iii. Agregat halus =  $751,08 \times 125\% \times 0,0053$

= 4,977 kg

iv. Agregat Kasar =  $999,69 \times 125\% \times 0,0053$

= 6,625 kg

b. Proporsi benda uji balok

i. Semen =  $394,23 \times 125\% \times 0,0312$

= 15,375 kg

ii. Air =  $205 \times 125\% \times 0,0312$

= 7,995 kg

iii. Agregat halus =  $751,08 \times 125\% \times 0,0312$

= 29,292 kg

iv. Agregat kasar =  $999,69 \times 125\% \times 0,0312$

= 38,987 kg

### 5.3 Analisis Data *Mix Design*

Berdasarkan perencanaan campuran yang telah dilaksanakan, kemudian dilakukan percobaan pembuatan benda uji *trial*. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai mutu kuat tekan  $f'c$  dari *mix design* sudah mencapai mutu yang direncanakan atau belum. Benda uji sampel yang dibuat adalah 3 silinder yang sebelum dilakukan pengujian terlebih dahulu diberikan lapisan *capping* untuk

meratakan permukaannya. Pengujian dilakukan pada umur beton 7 hari. Oleh karena itu, perhitungan nilai kuat tekan beton perlu dibagi dengan angka konversi umur uji. Adapun perhitungan kuat tekan beton *trial* adalah sebagai berikut.

$$1. \text{ Diketahui : diameter (d) = 150,85 mm}$$

$$\begin{aligned} 2. A &= 1/4 \times \pi \times d^2 \\ &= 1/4 \times \pi \times 151,217^2 \\ &= 17959,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= 376,26 \text{ kN} \\ &= 376260 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f'c_{\text{aktual}} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{376260}{17959,37} \\ &= 20,951 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f'c_{\text{terkoreksi}} &= 20,95 \times \frac{1}{0,65} \\ &= 32,232 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, dihitung juga kuat tekan beton pada sampel-sampel yang lain. Adapun rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton *trial* terdapat pada Tabel 5.11 berikut.

**Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Uji Kekuatan Tekan Beton *Trial***

No. Sampel	Umur Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Angka Konversi	Kuat Tekan (MPa)
1	7	150,85	17872,3	237,39	13,283	0,65	20,435
2	7	151,217	17959,37	376,26	20,950	0,65	32,232
3	7	151,283	17975,05	324,91	18,075	0,65	27,809

Berdasarkan Tabel 5.11 di atas, setelah dilakukan perhitungan dapat diketahui bahwa terdapat 1 benda uji yang belum memenuhi mutu rencana yaitu benda uji nomor 1. Hal ini dapat terjadi dikarenakan benda uji memiliki permukaan yang tidak rata meskipun sudah di *capping*. Namun nilai kuat tekan ( $f'c$ ) silinder beton didapatkan rata-rata sebesar 26,825 MPa sedangkan rencana kuat tekan beton

sebesar 22 MPa. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa *mix design* sesuai dengan yang direncanakan.

#### 5.4 Analisis Tulangan Rangkap

Analisis tulangan rangkap dalam penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui sifat keruntuhan balok beton bertulang. Berikut merupakan langkah-langkah perhitungan analisis tulangan rangkap yang digunakan dalam penelitian ini.

Diketahui :

$$B = 150 \text{ mm}$$

$$H = 200 \text{ mm}$$

$$S_b = 20 \text{ mm}$$

$$\phi_p = 7,3 \text{ mm}$$

$$\phi_s = 6 \text{ mm}$$

$$F'_c = 22 \text{ MPa}$$

$$F_y = 400,640 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200000$$

$$E_y = f_y / E_s$$

$$= 400,640 / 200000$$

$$= 0,002$$

##### 1. Titik Berat Tulangan Tarik

$$d_s = \left( \frac{1}{2} \times \phi_{\text{pokok}} \right) + \phi_{\text{sengkang}} + S_b$$

$$= \left( \frac{1}{2} \times 7,3 \right) + 6 + 20$$

$$= 29,65 \text{ mm}$$

$$d = H - d_s$$

$$= 200 - 29,65$$

$$= 170,35 \text{ mm}$$

##### 2. Titik Berat Tulangan Tekan

$$d' = \left( \frac{1}{2} \times \phi_{\text{pokok}} \right) + \phi_{\text{sengkang}} + S_b$$

$$= \left(\frac{1}{2} \times 7,3\right) + 6 + 20$$

$$= 29,65 \text{ mm}$$

### 3. As' Tekan dan As Tarik

$$\text{As' Tekan} = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times \phi_{\text{pokok}}^2$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 7,3^2$$

$$= 83,708 \text{ mm}^2$$

$$\text{As Tarik} = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times \phi_{\text{pokok}}^2$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 7,3^2$$

$$= 83,708 \text{ mm}^2$$

### 4. Diasumsikan As' telah leleh

$$\Sigma H = 0$$

$$C_c + C_s - T_s = 0$$

$$(0,85 \times f'_c \times a \times b) + (f_y \times \text{As}') - (\text{As} \times f_y) = 0$$

$$a = ((\text{As} \times f_y) - (\text{As}' \times f_y)) / (0,85 \times f'_c \times b)$$

$$= ((83,708 \times 400,640) - (83,708 \times 400,640)) / (0,85 \times 22 \times 150)$$

$$= 0$$

$$E_{cs} = ((a - d') \times \beta_1) / a \times 0,003$$

$$= ((0 - 29,65) \times 0,85) / 0 \times 0,003$$

$$= 0 < E_y = 0,0020 \text{ (belum leleh)}$$

### 5. Blok tekan yang sesungguhnya

$$T_s = C_c + C_s$$

$$(\text{As} \times f_y) = (0,85 \times f'_c \times b \times a) + (\text{As}' \times f_s)$$

$$(\text{As} \times f_y) = (0,85 \times f'_c \times b \times a) + (\text{As}' \times \epsilon_s \times E_s)$$

$$(\text{As} \times f_y) = (0,85 \times f'_c \times b \times a) + (\text{As}' \times \left(\frac{a - \beta_1 \times d}{a}\right) \times \epsilon_c \times E_s)$$

$$(83,708 \times 400,640) = (0,85 \times 22 \times 150) a + (83,708 \times$$

$$\left(\frac{a - 0,85 \times 170,35}{a}\right) \times 0,003 \times 200000)$$

$$335367,01 = 2805 a^2 + 50224,8 a - 7272,425$$

$$2805 a^2 + 50224,8 a - 727240,26 - 335367,01 = 0$$

$$2805 a^2 + 50224,64 a - 1062607,27 = 0$$

$$a_1 = 12,471 \text{ mm (dipakai)}$$

$$a_2 = -30,3764 \text{ mm}$$

#### 6. Regangan tarik baja

$$\begin{aligned} D_t &= H - d' \\ &= 200 - 29,65 \\ &= 170,35 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= ((\beta_1 \times d_t - a) / a) \times 0,003 \\ &= ((0,85 \times 170,35 - 12,471) / 12,471) \times 0,003 \\ &= 0,028 > 0,005 \text{ (Terkondisi Tarik)} \end{aligned}$$

#### 7. Kapasitas Momen Tulangan

$$\begin{aligned} \epsilon_s' &= ((a - d' \times \beta_1) / a) \times 0,003 \\ &= ((14,1558 - 29,825 \times 0,85) / 12,471) \times 0,003 \\ &= -0,0028 \end{aligned}$$

Karena nilai  $\epsilon_s'$  negatif, maka di asumsikan sebagai tulangan tunggal

$$\begin{aligned} M_n &= (0,85 \times f_c' \times a \times b \times (d - \frac{1}{2} \times a)) \\ &= (0,85 \times 22 \times 12,471 \times 150 \times (170,175 - 12,471 / 2)) \\ &= 5740914,762 \text{ Nmm} \\ &= 5,741 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan analisis untuk tulangan rangkap pada setiap variasi balok sesuai dengan spesifikasinya dan didapatkan nilai momen nominal untuk variasi balok dengan tulangan baja konvensional korosi sebesar 5,741 kNm. Setiap variasi benda uji dilakukan analisis tulangan rangkap lalu untuk hasilnya dapat dilihat pada rekapitulasi perhitungan Tabel 5.12.

**Tabel 5.14 Rekapitulasi Analisis Tulangan Rangkap**

<b>Kode Tulangan</b>	<b>Regangan Tarik Tulangan</b>	<b>Kondisi Penampang</b>	<b>Mn (kNm)</b>
Konvensional Tidak Korosi	0,019	Dominan Tarik	5,934
Konvensional Korosi	0,021	Dominan Tarik	5,741
Basalt Tidak Korosi	0,019	Dominan Tarik	5,841
Basalt Korosi	0,020	Dominan Tarik	5,759

Untuk tulangan basalt baik yang terkorosi maupun tidak terkorosi dilakukan analisis tulangan rangkap namun menggunakan data tegangan 362,686 MPa dan 364,702 MPa. Nilai tersebut didapatkan dari beban terbesar yang dapat dicapai sebelum mesin uji tarik los atau tidak dapat mencengkeram tulangan basalt dengan baik.

## **5.5 Pengujian Kuat Lentur Balok**

### **5.5.1 Mekanisme Pembebanan**

Dalam pengujian kuat lentur ini pembebanan dilakukan sesuai dengan SNI 03-4154-1996 yaitu dengan pembebanan satu titik. Titik beban ditempatkan pada tengah bentang balok dan pembebanan dilakukan secara bertahap hingga mencapai beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok. Ilustrasi mekanisme pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan untuk saat pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



**Gambar 5.10 Mekanisme Pembebanan Benda Uji Balok**

Dalam pengujian kuat lentur yang dilakukan, dipasang dial gauge berjumlah 1 buah yang letaknya berada di daerah pembebanan. Dial gauge ini memiliki tujuan untuk mengetahui besaran lendutan yang terjadi pada saat balok menerima beban.

#### 5.5.2 Analisis Hasil Pengujian Lentur

Hasil pengujian lentur balok diperoleh beban ultimit yang mampu ditahan oleh balok. Beban ultimit ini digunakan untuk perhitungan reaksi tumpuan dan momen maksimum pada balok. Contoh perhitungan reaksi tumpuan seperti di bawah ini.

$$\Sigma H = 0$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$\begin{aligned} R_A = R_B &= (P \times (\frac{1}{2} \times L_T)) / L_T \\ &= (43,360 \times (\frac{1}{2} \times 0,9)) / 0,9 \\ &= 21,680 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol

Aksi = Reaksi

$$P = R_A + R_B$$

$$43,360 = 21,680 + 21,680$$

$$43,360 \text{ kN} = 43,360 \text{ kN}$$

Untuk dapat mengetahui momen maksimum dari beban ultimit yang didapat, perlu mengetahui berat sendiri balok (W). Berat balok dapat diketahui melalui berat jenis balok ( $\gamma_c$ ) dikali dengan volume balok (v). Contoh perhitungan berat balok seperti dibawah ini.

$$\begin{aligned} W &= \gamma_c \times v \\ &= 24 \times (1,04 \times 0,15 \times 0,2) \\ &= 0,749 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berat balok dapat berpengaruh pada gaya yang bekerja pada balok ( $Q_{dl}$ ). Untuk dapat menghitung gaya berat balok ( $Q_{dl}$ ) dapat dengan membagi berat balok (W) dengan panjang bentang balok (L) seperti perhitungan berikut.

$$\begin{aligned} Q_{dl} &= W / L \\ &= 0,749 / 1,04 \\ &= 0,720 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai gaya berat balok, momen akibat berat balok dapat diperoleh melalui perhitungan berikut.

$$\begin{aligned} M_w &= \frac{1}{8} \times Q_{dl} \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 0,720 \times 1,04^2 \\ &= 0,097 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, momen maksimum yang terjadi pada balok dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned} M_{maks} &= \left( \frac{1}{4} \times P \times L_T \right) + M_w \\ &= \left( \frac{1}{4} \times 43,360 \times 0,9 \right) + 0,097 \\ &= 9,853 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan sesuai dengan rumus di atas, berikut Tabel 5.13 dan Tabel 5.14 merupakan rekapitulasi momen maksimum yang terjadi pada masing-masing balok.

**Tabel 5.15 Rekapitulasi Perhitungan Momen Maksimum**

Kode Balok	Pmaks (kN)	Mmaks (kNm)	Mmaks Rata-rata (kNm)
BKN1	40,712	9,257	9,368
BKN2	41,693	9,478	
BKM1	37,866	8,617	8,485
BKM2	36,689	8,352	
BTN1	43,360	9,853	9,864
BTN2	43,458	9,875	
BTM1	41,496	9,434	9,390
BTM2	41,104	9,346	

Keterangan :

BKN = Beton tulangan konvensional yang tidak terkorosi;

BKM = Beton tulangan konvensional yang terkorosi;

BTN = Beton tulangan basalt yang tidak terkorosi;

BTM = Beton tulangan basalt yang terkorosi.

Berdasarkan analisis, balok bertulangan baja korosi memiliki nilai momen maksimum rata-rata sebesar 8,485 kNm, balok bertulangan baja tanpa korosi dengan rata-rata 9,368 kNm, balok bertulangan basalt korosi dengan rata-rata 9,390 kNm, dan momen maksimum tertinggi dapat dicapai oleh balok bertulangan basalt tanpa korosi dengan nilai rata-rata 9,864 kNm.

Untuk mengetahui penurunan pada benda uji terkorosi, dibutuhkan perhitungan guna mencari berapa persentase penurunan benda uji yang terkorosi. Berikut contoh perhitungan penurunan persentase pada benda uji.

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase Penurunan (\%)} &= \left( \frac{\text{nilai awal} - \text{nilai akhir}}{\text{nilai awal}} \right) \times 100 \\
 &= \left( \frac{9,368 - 8,485}{9,368} \right) \times 100 \\
 &= 9,425 \%
 \end{aligned}$$

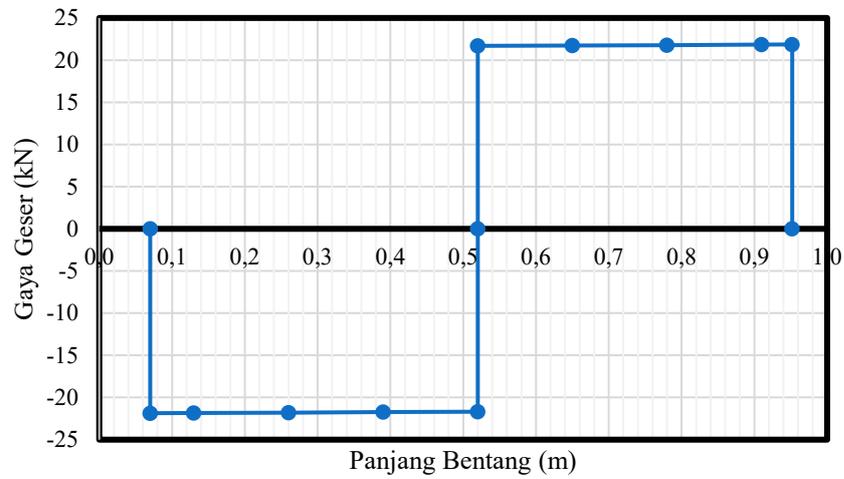
**Tabel 5.16 Rasio Perbandingan Balok Tulangan Basalt & Balok Tulangan Baja**

<b>Kode Balok</b>	<b>Pmaks Rata-rata (kN)</b>	<b>Mmaks Rata-rata (kNm)</b>	<b>Penurunan Mmaks (%)</b>
BKN	41,202	9,368	9,425
BKM	37,278	8,485	
BTN	43,409	9,864	4,811
BTM	41,300	9,390	

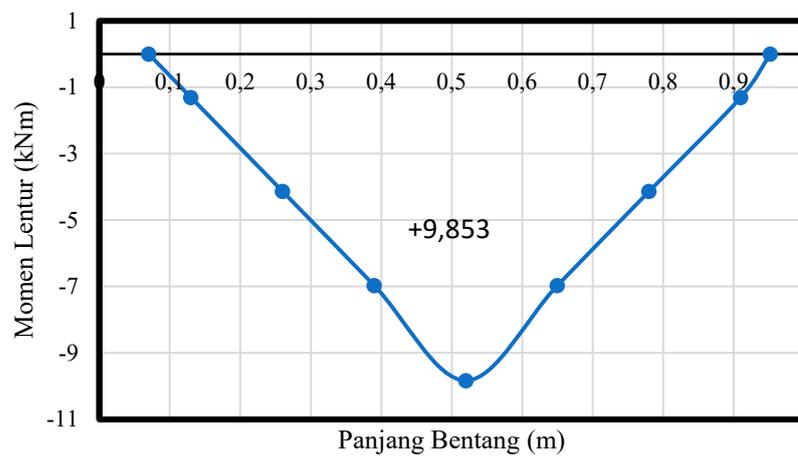
Perbandingan nilai momen maksimum antara balok dengan tulangan basalt dan balok dengan tulangan baja menghasilkan hasil yang memuaskan. Menurut penelitian Wibowo (2007) balok yang terkorosi dengan tulangan baja selama 4 minggu mengalami penurunan momen maksimum sebesar 8,970%. Sedangkan pada penelitian ini penulis mendapatkan penurunan momen maksimum pada benda uji balok dengan tulangan baja terkorosi sebesar 9,425%. Dalam hal ini tentu penurunan momen maksimum pada penelitian penulis lebih besar. Sedangkan untuk Balok dengan tulangan basalt terkorosi mendapatkan hasil penurunan momen maksimum sebesar 4,811% dari balok dengan tulangan basalt tanpa korosi.

Momen maksimum pada balok dengan tulangan baja korosi mendapatkan angka penurunan yang lebih tinggi dikarenakan korosi akan mempengaruhi mutu dari tulangan baja dalam menahan beban maksimum, semakin banyak korosi terjadi pada tulangan baja maka mutu tulangan baja semakin rendah. Penurunan mutu dari tulangan baja akan menurunkan kapasitas balok dalam menahan beban maksimum. Pada balok dengan tulangan basalt korosi menunjukkan angka penurunan yang rendah, hal tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan tulangan basalt lebih tahan terhadap korosi dibandingkan dengan tulangan baja konvensional dan penggunaan tulangan basalt dapat meningkatkan kapasitas balok dalam menahan beban maksimum. Berikut dokumentasi gambar benda uji terdefleksi.



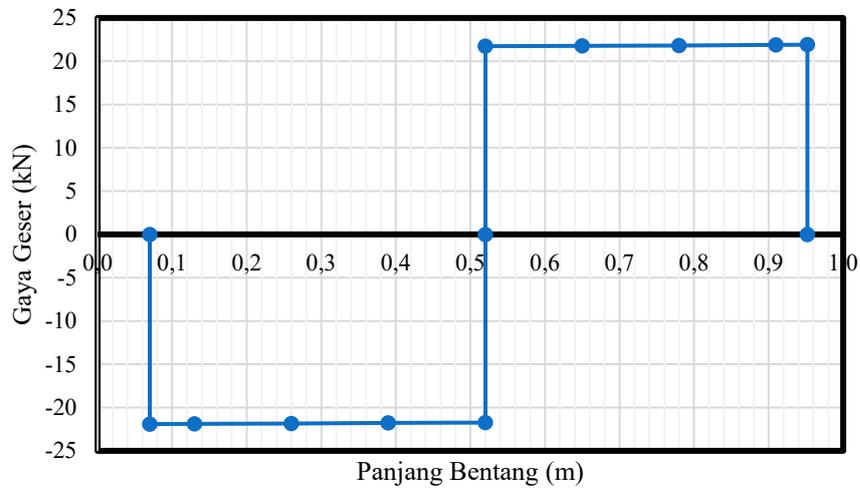


(a) Diagram Gaya Geser

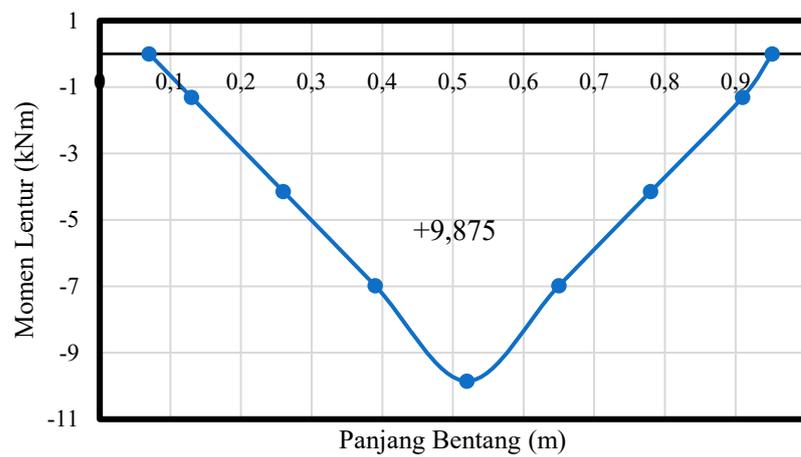


(b) Diagram Momen Lentur

**Gambar 5.12 Diagram Gaya Geser dan Momen Lentur Benda Uji BTN1**

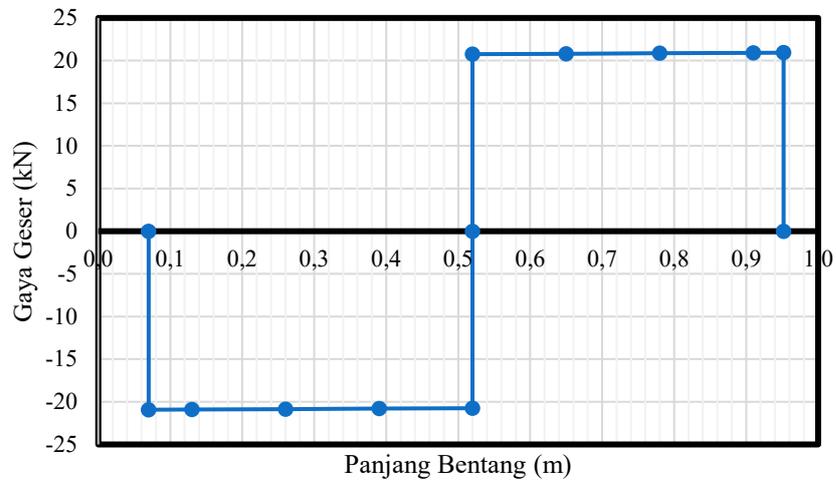


(a) Diagram Gaya Geser

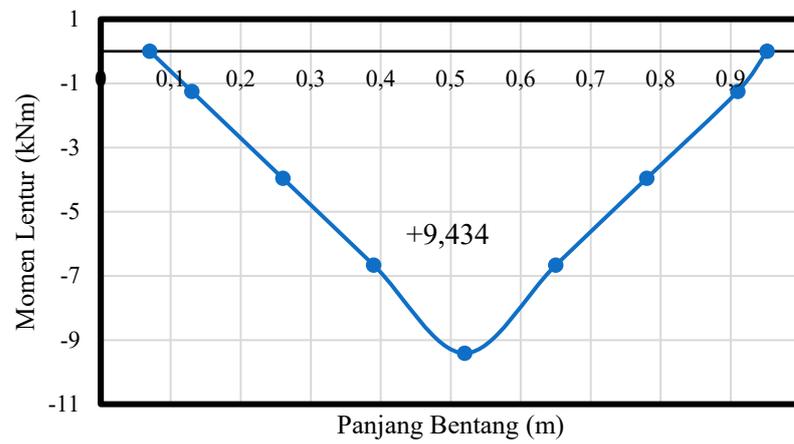


(b) Diagram Momen Lentur

**Gambar 5.13 Diagram Gaya Geser dan Momen Lentur Benda Uji BTN2**

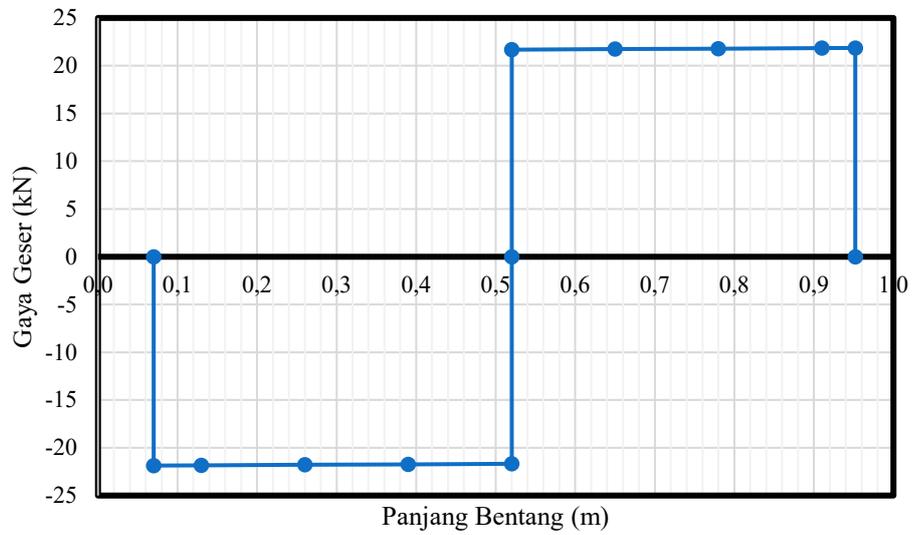


(a) Diagram Gaya Geser

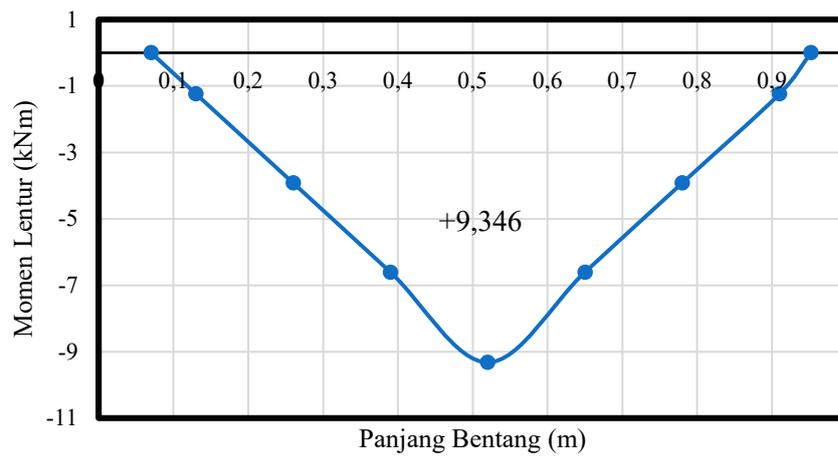


(b) Diagram Momen Lentur

**Gambar 5.14 Diagram Gaya Geser dan Momen Lentur Benda Uji BTM1**

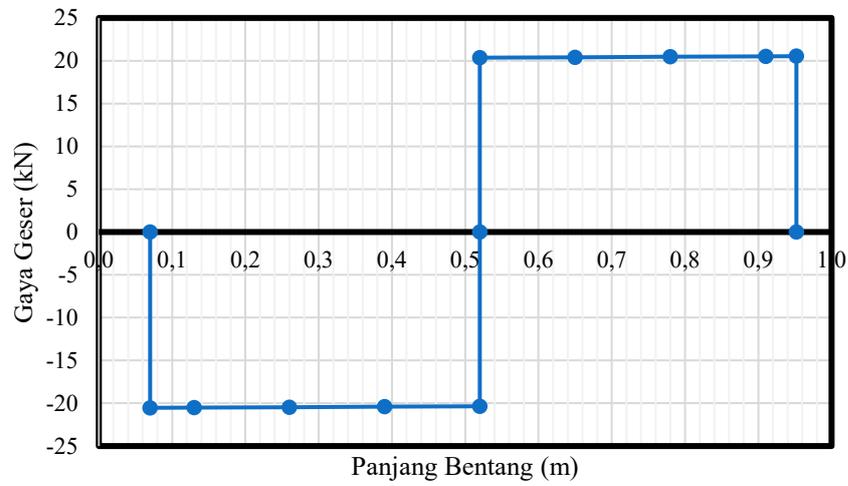


(a) Diagram Gaya Geser

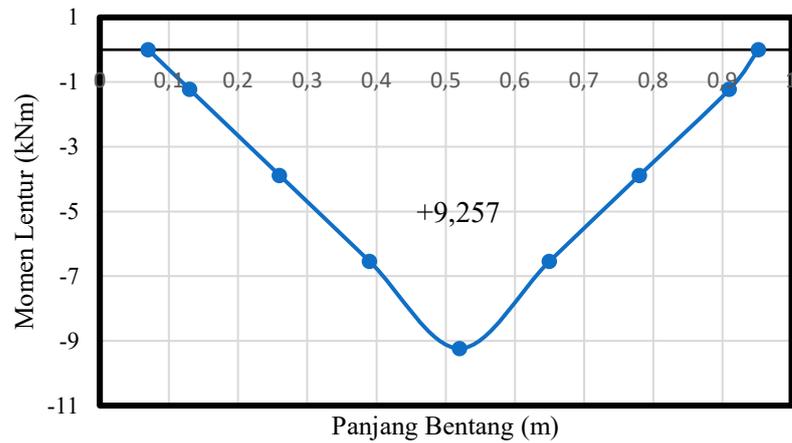


(b) Diagram Momen Lentur

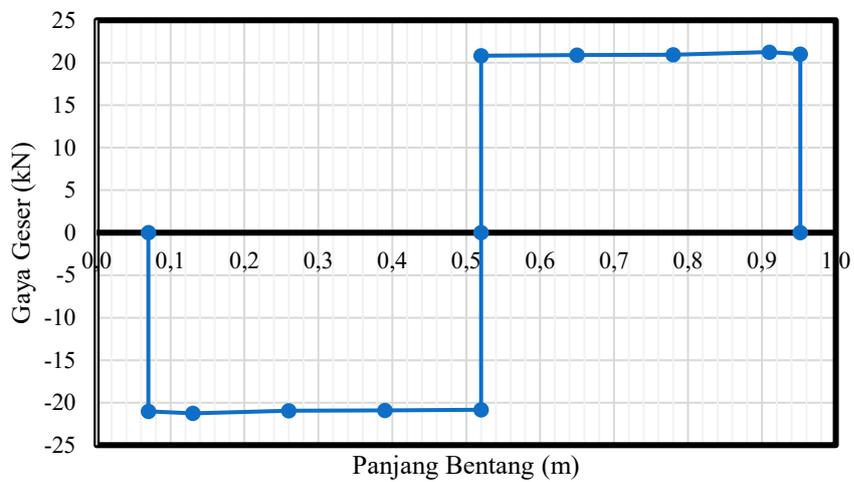
**Gambar 5.15 Diagram Gaya Geser dan Momen Lentur Benda Uji BTM2**



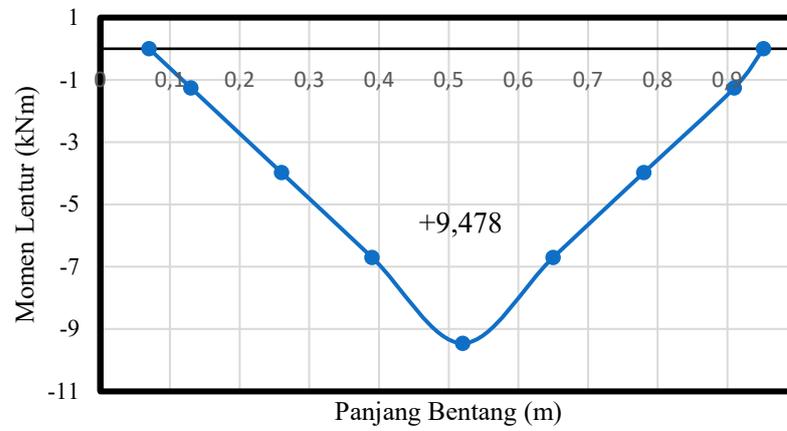
(a) Diagram Gaya Geser



(b) Diagram Momen Lentur

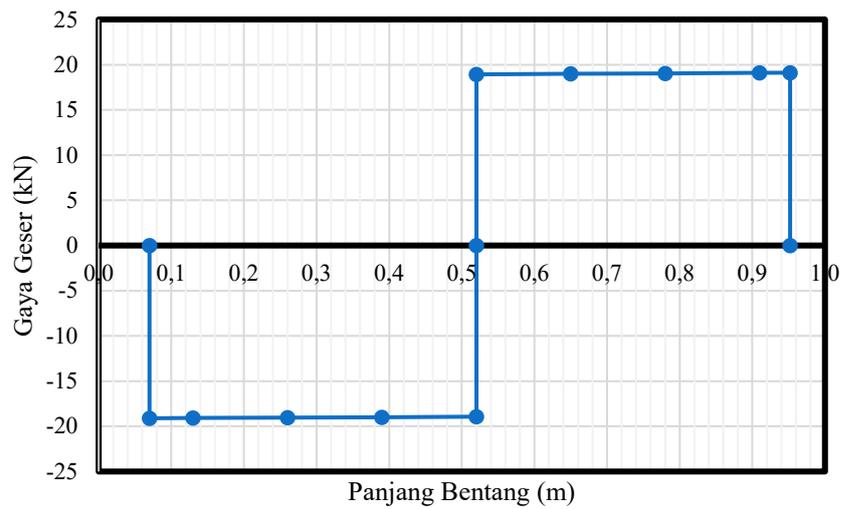
**Gambar 5.16 Diagram Gaya Geser dan Momen Lentur Benda Uji BKN1**

(a) Diagram Gaya Geser

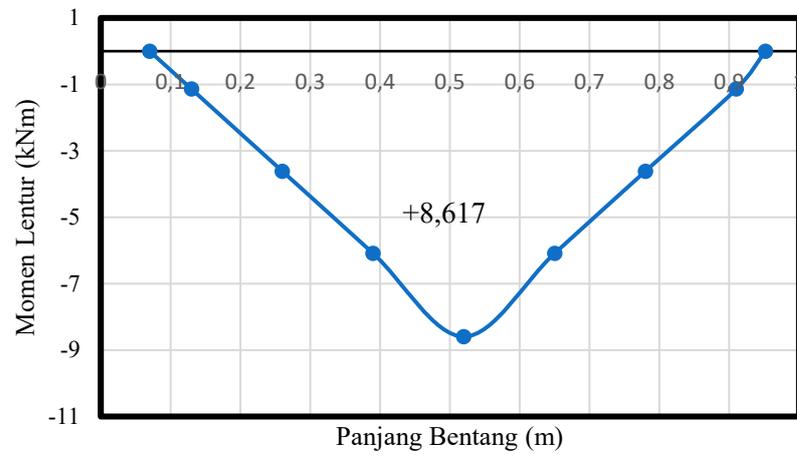


(b) Diagram Momen Lentur

Gambar 5.17 Diagram Gaya Geser dan Momen Lentur Benda Uji BKN2

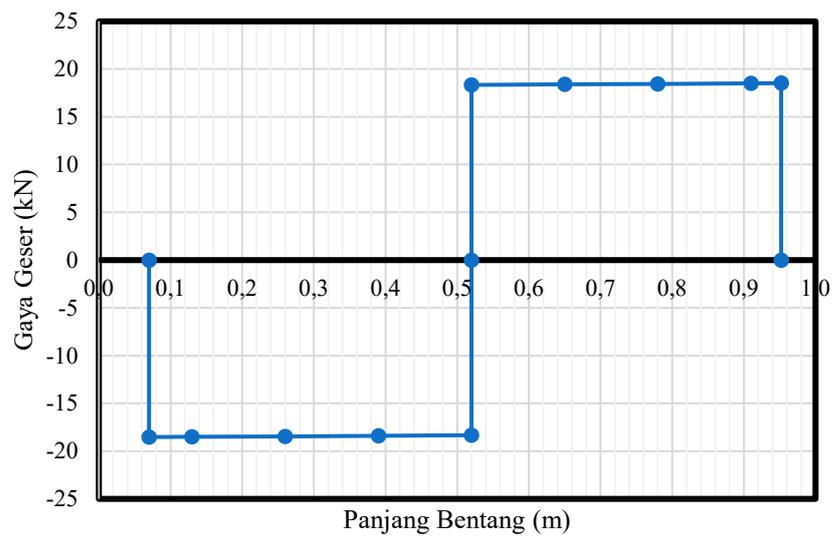


(a) Diagram Gaya Geser

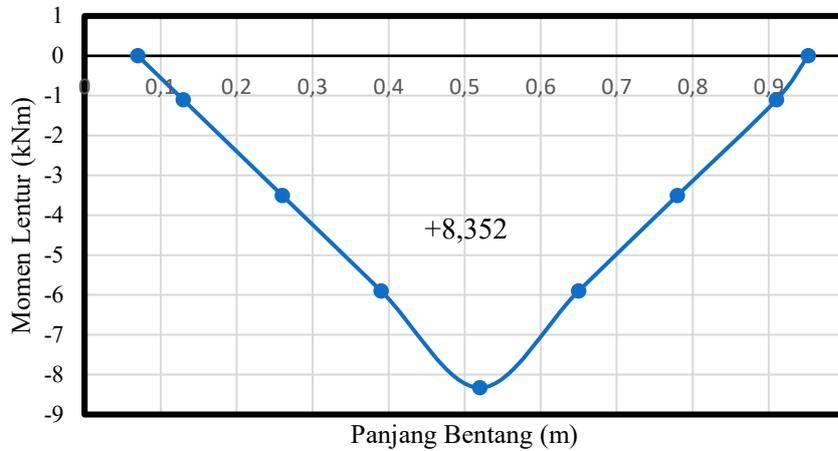


(b) Diagram Momen Lentur

Gambar 5.18 Diagram Gaya Geser dan Momen Lentur Benda Uji BKM1



(a) Diagram Gaya Geser

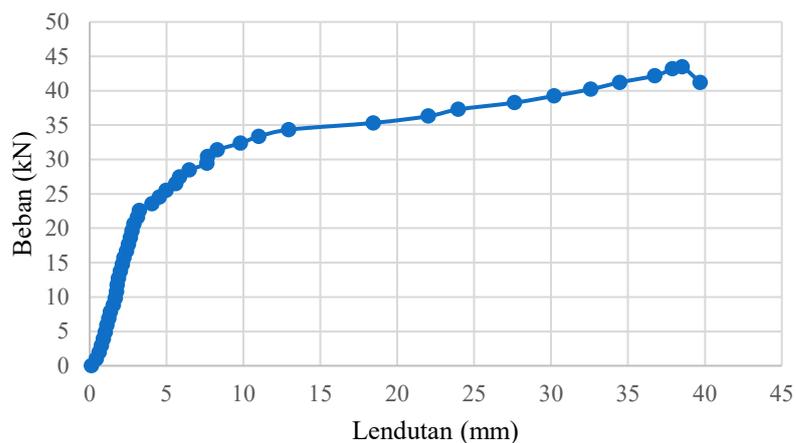


(b) Diagram Momen Lentur

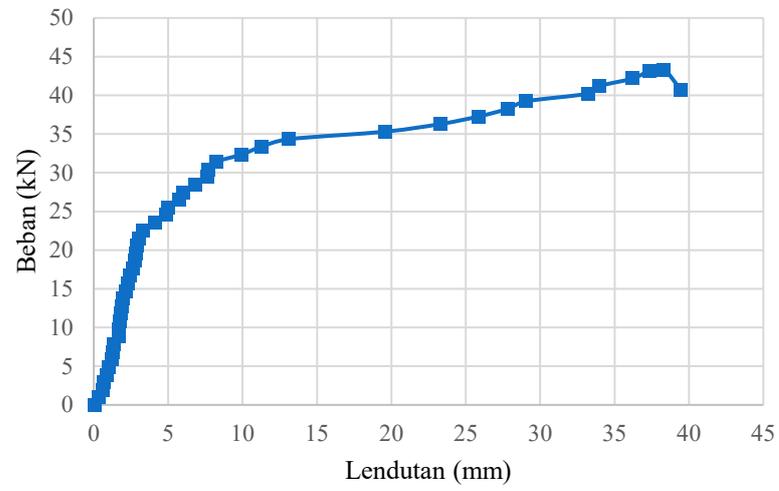
**Gambar 5.19 Diagram Gaya Geser dan Momen Lentur Benda Uji BKM2**

### 5.6 Hubungan Beban dan Lendutan Balok

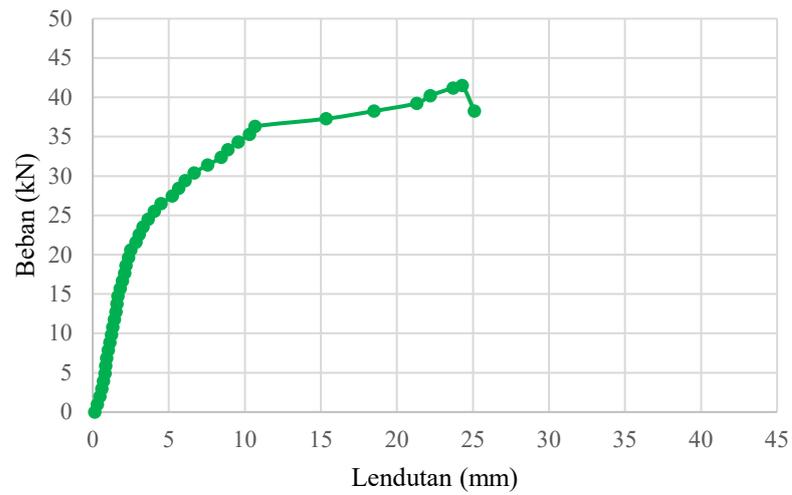
Benda uji balok yang akan diuji sebelumnya dipasangkan sebuah LVDT di mana perletakannya diletakkan di samping benda uji dan bersentuhan langsung dengan mesin tekan. Adanya LVDT ini bertujuan untuk mengetahui defleksi vertikal yang terjadi pada balok saat diberi tekanan. Untuk melihat respon balok terhadap beban dan lendutan secara jelas, dapat dilihat pada grafik yang tersedia pada Gambar 5.9, 5.10, 5.11, 5.12 di bawah ini.



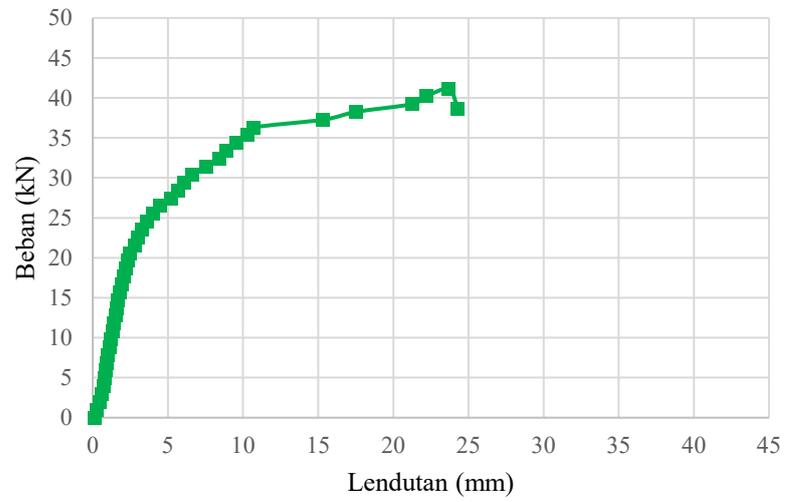
(a) LVDT BTN1



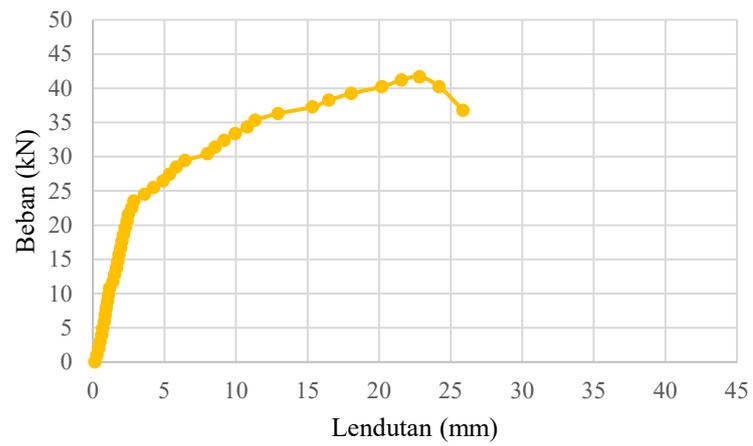
(b) LVDT BTN2

**Gambar 5.20 Beban vs Lendutan Balok Tulangan Basalt Tidak Korosi**

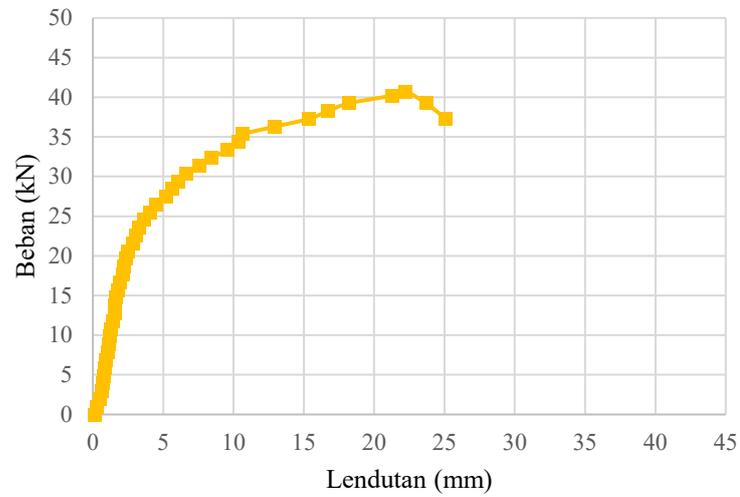
(a) LVDT BTM1



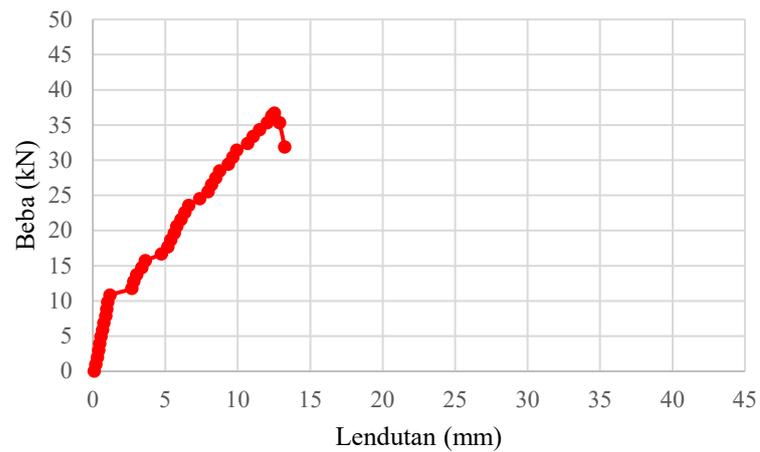
(b) LVDT BTM2

**Gambar 5.21 Beban vs Lendutan Balok Tulangan Basalt Korosi**

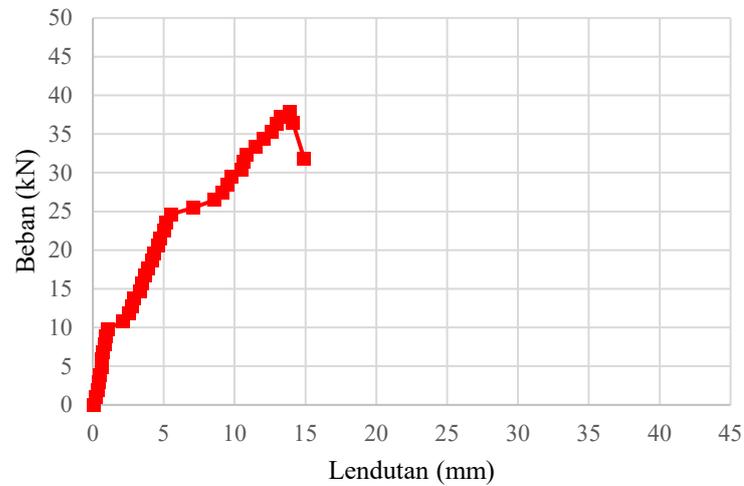
(a) LVDT BKN1



(b) LVDT BKN2

**Gambar 5.22 Beban vs Lendutan Balok Tulangan Baja Tidak Korosi**

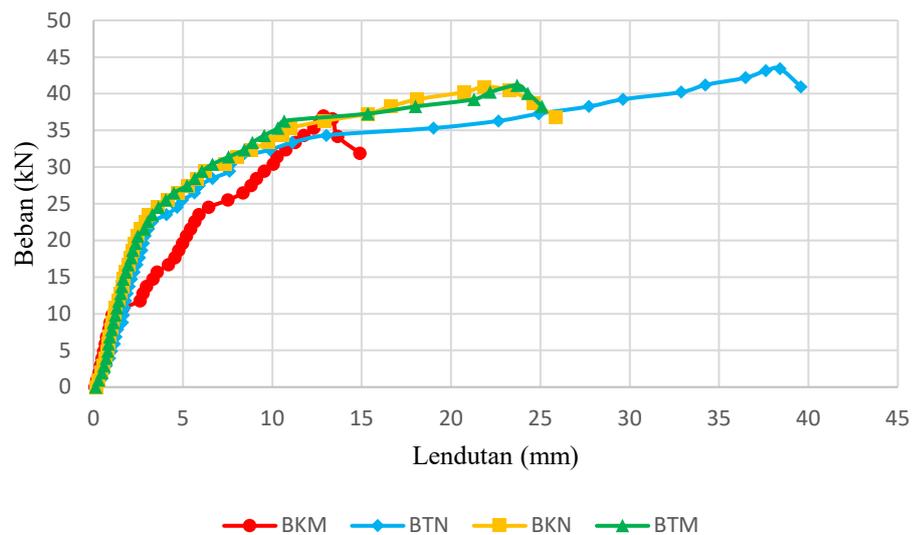
(a) LVDT BKM1



(b) LVDT BKM2

**Gambar 5.23 Beban vs Lendutan Balok Tulangan Baja Korosi**

Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa balok dengan tulangan basalt tanpa korosi mendapatkan kekuatan beban tertinggi dengan beban maksimum rata-rata sebesar 43,409 kN dan lendutan maksimum rata-rata sebesar 39,58 mm. Agar terlihat perbedaan grafik hubungan beban maksimum dan lendutan dapat kita lihat pada Gambar 5.21 sebagai berikut.

**Gambar 5.24 Perbandingan Beban vs Lendutan Setiap Balok**

Pada Gambar 5.24 menampilkan perbandingan respon balok terhadap beban dan lendutan semua sampel balok dan juga bagaimana kinerja lentur setiap spesimen balok. Pada balok tulangan basalt tanpa korosi dan korosi setelah mencapai beban ultimitnya mengalami penurunan hingga 40,957 kN dan 38,259 kN dengan nilai lendutan sebesar 39,58 mm dan 25,10 mm. Sedangkan pada balok dengan tulangan baja tanpa korosi dan korosi setelah mencapai beban ultimitnya mengalami penurunan hingga 36,788 kN dan 31,882 kN dengan nilai lendutan sebesar 25,87 mm dan 14,90 mm.

**Tabel 5.17 Rasio Penurunan Nilai Defleksi**

<b>Kode Balok</b>	<b>Beban Ultimit (kN)</b>	<b>Defleksi (mm)</b>	<b>Penurunan defleksi (%)</b>
BKN	41,202	25,87	42,404
BKM	37,278	14,90	
BTN	43,409	39,58	36,584
BTM	41,300	25,10	

Keterangan :

BKN = Beton tulangan konvensional yang tidak terkorosi;

BKM = Beton tulangan konvensional yang terkorosi;

BTN = Beton tulangan basalt yang tidak terkorosi;

BTM = Beton tulangan basalt yang terkorosi.

Berdasarkan analisis perhitungan di atas, penelitian ini mendapatkan hasil yang kurang memuaskan. Menurut penelitian Abed, Rahman (2022) balok tulangan basalt tanpa korosi mampu menahan defleksi sampai 43,1 mm. Sedangkan pada penelitian ini untuk balok dengan tulangan basalt tanpa korosi mengalami patah pada lendutan akhir 39,58 mm. Namun pada penelitian ini penurunan nilai defleksi yang terjadi pada balok dengan tulangan basalt korosi dan balok dengan tulangan baja korosi adalah sebesar 36,584% dan 42,404%.

Pada balok tulangan basalt korosi menunjukkan nilai penurunan yang lebih rendah dibandingkan dengan balok tulangan baja konvensional korosi. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan tulangan basalt lebih tahan terhadap korosi dibandingkan dengan tulangan baja konvensional.

### **5.7 Kelayakan Tulangan Basalt Sebagai Pengganti**

Berdasarkan pembahasan-pembahasan sebelumnya, beton yang menggunakan tulangan basalt lebih unggul dibandingkan dengan tulangan konvensional. Untuk beban maksimum yang diterima, balok dengan tulangan basalt korosi memiliki nilai dengan rata-rata 41,300 kN, sedangkan balok dengan tulangan baja terkorosi memiliki nilai 37,278 kN. Dari aspek beban maksimum yang mampu diterima oleh balok, balok dengan tulangan basalt terkorosi memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan balok dengan tulangan baja.

Momen maksimum yang diterima balok dengan tulangan basalt terkorosi mengalami penurunan kapasitas sebesar 4,811% dari balok dengan tulangan basalt tanpa korosi. Sedangkan balok dengan tulangan baja terkorosi mengalami penurunan kapasitas sebesar 9,425% dari balok dengan tulangan baja tanpa korosi. Hal ini menunjukkan bahwa balok dengan tulangan basalt memiliki penurunan nilai momen maksimum lebih rendah dibandingkan balok dengan tulangan baja, hal tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan tulangan basalt lebih tahan terhadap korosi dibandingkan dengan tulangan baja konvensional dan tulangan basalt dapat meningkatkan kapasitas balok dalam menahan momen maksimum.

Hubungan beban dan lendutan diperoleh hasil dari analisis defleksi memiliki nilai yang beragam. Pada balok beton dengan tulangan basalt terkorosi terdapat penurunan nilai defleksi sebesar 36,584% dibandingkan dengan balok dengan tulangan basalt tidak korosi. Sedangkan balok dengan tulangan baja terkorosi mengalami penurunan nilai defleksi sebesar 42,404% dibandingkan dengan balok tulangan baja tidak korosi. Balok dengan tulangan basalt korosi memiliki penurunan nilai defleksi lebih rendah dibandingkan balok dengan tulangan baja korosi. Hal ini dapat dikatakan bahwa tulangan basalt korosi lebih unggul dibandingkan dengan tulangan baja korosi.

Berdasarkan ketiga aspek di atas, dilihat dari kekuatan, reaksi momen yang diterima, dan defleksinya maka balok dengan tulangan basalt korosi lebih unggul dibandingkan dengan balok tulangan baja korosi. Hal tersebut dapat mengindikasikan bahwa tulangan basalt dapat menggantikan tulangan baja pada kondisi terkorosi.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis serta pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Pengujian kinerja lentur pada penelitian ini, pada balok tulangan baja konvensional korosi didapatkan penurunan momen ultimit sebesar 9,425 % dan defleksi sebesar 42,404 % dibandingkan dengan balok dengan tulangan baja tidak korosi.
2. Untuk benda uji balok dengan tulangan basalt korosi, mendapatkan hasil penurunan momen maksimum sebesar 4,811 % dan defleksi sebesar 36,854 % dari balok dengan tulangan basalt tanpa korosi. Hasil penurunan ini menunjukkan bahwa penurunan pada tulangan basalt korosi memiliki nilai yang lebih rendah. Berdasarkan hal tersebut dapat mengindikasikan bahwa tulangan basalt lebih tahan terhadap korosi dibandingkan dengan tulangan baja.
3. Balok dengan tulangan baja korosi memiliki penurunan nilai momen maksimum dan defleksi yang lebih tinggi dibandingkan balok dengan tulangan basalt korosi. Pengkorosian dari tulangan baja akan menurunkan kapasitas balok dalam menahan beban maksimum. Pada balok dengan tulangan basalt korosi menunjukkan angka penurunan yang lebih rendah, hal tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan tulangan basalt lebih tahan terhadap korosi dibandingkan dengan tulangan baja konvensional dan penggunaan tulangan basalt dapat meningkatkan kapasitas balok dalam menahan beban maksimum. Berdasarkan pemaparan dari 2 aspek tersebut dilihat dari kekuatan, reaksi momen yang diterima, dan keuletan dari benda uji maka balok dengan tulangan basalt korosi lebih unggul dibandingkan dengan balok dengan tulangan baja korosi.

## 6.2 Saran

Penelitian yang penulis lakukan masih jauh dari kata sempurna. Berdasarkan kesimpulan yang telah dijelaskan, berikut beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk memperbaiki serta mengembangkan penelitian selanjutnya.

1. Melakukan penelitian dengan pengkorosian lebih lama.
2. Memastikan kembali apa yang telah diperhitungkan dapat diaplikasikan dengan baik di lapangan.
3. Selalu fokus atas apa yang dikerjakan sehingga tidak ada kesalahan dalam komunikasi saat pengujian.
4. Menggunakan jenis tulangan dan dimensi yang berbeda untuk mengetahui performa lentur yang dapat terjadi.
5. Mencari alternatif sebagai perekat tulangan basalt agar saat diuji tarik mendapatkan hasil yang maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alvina, F., Oediyani, I. S., Maburri, E., Jurusan, M. T., Metalurgi, T., Sultan, U., Tirtayasa, A., & Banten, C. (t.t.). Pengaruh Inhibitor Sodium Nitrit dan DMEA Terhadap Ketahanan Korosi Pada Baja Tulangan S.13 di Lingkungan Air Laut.
- Andrean, S., Sumajouw, M. D. J., & Windah, R. S. (2015). Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Variasi Rasio Tulangan Tarik. *Jurnal Sipil Statik*, 3(3), 175–182.
- Fahirah, F., & Fahirah, F. (2007). Korosi pada beton bertulang dan pencegahannya. *SMARTek*, 5(3), 222094.
- Fardheny, A. F. (t.t.). Analisa Waktu Kerusakan Balok Beton Bertulang Akibat Korosi Pada Bangunan Struktur di Daerah Pantai. *Info-Teknik*, 6(2), 103–110.
- Ika, N. A., Oktarina, D., & Gumay, A. (2022). Analisis Kuat Tarik Lentur Beton Dengan Menggunakan Material Batu Basalt (Studi Kasus:  $f_s = 4.5$  MPa). *Jurnal Rekayasa, Teknologi, dan Sains*, 6(2), 66–68.
- Inman, M., Thorhallsson, E. R., & Azrague, K. (2017). A Mechanical and Environmental Assessment and Comparison of Basalt Fibre Reinforced Polymer (BFRP) Rebar and Steel Rebar in Concrete Beams. *Energy Procedia*, 111, 31–40. (<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.005>. Diakses 9 Juni 2023)
- Ishak, I. (2021). Analisis Kegagalan Struktur Beton Akibat Korosi. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 1(1).
- Khirunnisa, S., Ghulam Rifqi, M., & Shofi'ul Amin, D. M. (t.t.). Kajian Kuat Tekan Beton di Lingkungan Laut Tropis Banyuwangi.
- Mohamed, O. A., Hawat, W. Al, & Keshawarz, M. (2021). Durability and mechanical properties of concrete reinforced with basalt fiber-reinforced polymer (Bfrp) bars: Towards sustainable infrastructure. Dalam *Polymers* (Vol. 13, Nomor 9). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/polym13091402>
- Mulyadi, A. A., & Walujodjati, E. (t.t.). Pengaruh Korosi Tulangan Secara Alami pada Balok Beton Bertulang Terhadap Kuat Lentur dan Geser. <https://jurnal.itg.ac.id/>
- MUSYAFFA, M. F. (2022). Perbandingan Kinerja Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Sambungan Lewatan Dan Sambungan Mekanis (*Clamp*)(*Comparison Bending Behaviour Reinforced Concrete Beams Of Lapsplce Joints And Mechanical Joints (Clamp)*).
- Penggunaan Bambu Sebagai Tulangan Pada Struktur Perkerasan Kaku Jalan Raya, E., Darma, E., Setyowati Srie Gunarti, A., Nuryati, S., Yulius, E., & Paryati, N. (t.t.).

Evaluasi Penggunaan Bambu Sebagai Tulangan Pada Struktur Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) *Jalan Raya Bamboo Usage Evaluation As Reinforcement of Highway Rigid Pavement*. Diambil 14 Agustus 2022, dari <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=825419&val=13398&title=Bambu%20Sebagai%20Tulangan%20Pada%20Perkerasan%20Kaku%20Rigid%20Pavement%20Jalan%20Raya>

- Rasyid, R., Amir Sultan, M., Tata, A., Setiawan, E., & Jusuf Abdulrahman Kampus Gambesi Kota Ternate Selatan, J. I. (t.t.). Efek Korosi Tulangan Terhadap Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang.
- Standardisasi, B., & Bsn, N. (t.t.). Standar Nasional Indonesia Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal.
- Sulaeman, A. (2022). Pengaruh Pemanfaatan Campuran Serabut Kelapa Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Pada Beton.
- Sultan, M. A., AR, R., & Gaus, A. (2022). Efek Perkuatan Glass Fiber Reinforce Polymer-sheet pada Balok Beton Bertulang dengan Tulangan Korosi. *TERAS JURNAL*, 12(1), 103.  
(<https://doi.org/10.29103/tj.v12i1.694>. Diakses 12 Juni 2023)
- Urbanski, M., Lapko, A., & Garbacz, A. (2013). Investigation on Concrete Beams Reinforced with Basalt Rebars As An Effective Alternative of Conventional R/C Structures. *Procedia Engineering*, 57, 1183–1191.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.149>
- Zuchry, M., & Magga, R. (2017). Analisis Laju Korosi dengan Penambahan Pompa pada Baja Komersil Dalam Media Air Laut. *Jurnal Mekanikal*, 8(2), 737–741.

# LAMPIRAN

## Lampiran 1 Surat Izin Penggunaan Laboratorium

 <p>UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA</p>	<p>FAKULTAS TEKNIK SIPIL &amp; PERENCANAAN</p>	<p>Gedung KH. Moh. Natsir Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584 T. (0274) 898444 ext 3200, 3201 F. (0274) 895330 E. dekanat.ftsp@uii.ac.id W. ftsp.uui.ac.id</p>
<p>Nomor : 144/Sek. Prodi PSTS/20/TA/VII/2023 Hal : Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium</p>		
<p>Kepada Yth: KEPALA LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA</p>		
<p><i>Assalamu'alaikum Wr.Wb.</i></p>		
<p>Yang bertanda tangan dibawah ini:</p>		
NAMA	:	HANIF FAUZAN NABIL
NIM	:	19511111
JUDUL TUGAS AKHIR	:	PERBANDINGAN NILAI KUAT LENTUR BALOK TULANGAN BASALT DENGAN BETON TULANGAN KONVENSIONAL YAN TERKOROSI MEDIA AIR LAUT
DOSEN PEMBIMBING	:	JAFAR, S.T., MURP., M.T
<p>Sehubungan dengan Penelitian yang akan dilakukan untuk menyusun Tugas Akhir, maka melalui surat ini saya bermaksud mengajukan permohonan izin peminjaman peralatan beserta fasilitas di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia guna mendukung penyelesaian penyusunan Laporan Tugas Akhir.</p>		
<p>Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.</p>		
<p><i>Wassalamu'alaikum Wr. Wb.</i></p>		
 <p>Sekretaris Program Sarjana Teknik Sipil, DINIA ANGGRAHENI, M. ENG</p>	<p>Yogyakarta, 1 Agustus 2023 Pemohon  HANIF FAUZAN NABIL NIM. 19511111</p>	



### LAMPIRAN 3 HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK

**Tabel L-1 Hasil Analisis Tarik Basalt D8 Korosi**

Uraian	Hasil	Satuan
Panjang total benda uji (Lt)	1000	mm
Diameter asli (D)	7,65	mm
Luas Penampang Benda Uji	45,982	mm <sup>2</sup>
Lama Perendaman di Air Laut	28	Hari
Beban Maksimum	1700	Kgf
	16677	N
Kuat Tarik Maksimum (Fu)	362,686	MPa
Kuat Tarik Leleh (Fy)	-	MPa

**Tabel L-2 Hasil Analisis Tarik Basalt D8 Tidak Korosi**

Uraian	Hasil	Satuan
Panjang total benda uji (Lt)	1000	mm
Diameter asli (D)	7,85	mm
Luas Penampang Benda Uji	48,418	mm <sup>2</sup>
Lama Perendaman di Air Laut	-	Hari
Beban Maksimum	1800	Kgf
	17658	N
Kuat Tarik Maksimum (Fu)	364,702	MPa
Kuat Tarik Leleh (Fy)	-	MPa

**Tabel L-3 Hasil Analisis Tarik Baja D8 Korosi**

Uraian	Hasil	Satuan
Panjang total benda uji (Lt)	1000	mm
Diameter asli (D)	7,3	mm
Luas Penampang Benda Uji	41,871	mm <sup>2</sup>
Lama Perendaman di Air Laut	28	Hari
Beban Maksimum	2390	Kgf
	23445,9	N
Kuat Tarik Maksimum (Fu)	559,959	MPa
Kuat Tarik Leleh (Fy)	400,640	MPa

**Tabel L-4 Hasil Analisis Tarik Baja D8 Tidak Korosi**

Uraian	Hasil	Satuan
Panjang total benda uji (Lt)	1000	mm
Diameter asli (D)	7,85	mm
Luas Penampang Benda Uji	48,418	mm <sup>2</sup>
Lama Perendaman di Air Laut	-	Hari
Beban Maksimum	2720	Kgf
	26683,2	N
Kuat Tarik Maksimum (Fu)	551,105	MPa
Kuat Tarik Leleh (Fy)	393,067	MPa

**LAMPIRAN 4 HASIL PENGUJIAN LENTUR**

Kode Balok	Pmaks (kN)	Panjang Tumpuan (m)	Mmaks (kNm)	Mmaks Rata-rata (kNm)
BKN	40,712	0,9	9,257	9,368
	41,693	0,9	9,478	
BKM	37,866	0,9	8,617	8,485
	36,689	0,9	8,352	
BTN	43,360	0,9	9,853	9,864
	43,458	0,9	9,875	
BTM	41,496	0,9	9,434	9,390
	41,104	0,9	9,346	

**LAMPIRAN 5 DOKUMENTASI PENGUKURAN TULANGAN****Gambar L-5.1 Pengukuran Berat Tulangan Basalt Tidak Korosi****Gambar L-5.2 Pengukuran Berat Tulangan Basalt Korosi**



**Gambar L-5.3 Pengukuran Berat Tulangan Baja Tanpa Korosi**



**Gambar L-5.4 Pengukuran Berat Tulangan Baja Korosi**

**LAMPIRAN 6 DOKUMENTASI PENGUJIAN TARIK**

**Gambar L-6.1 Pengujian Tarik Tulangan Basalt**



**Gambar L-6.2 Tulangan Basalt Yang Patah**

**LAMPIRAN 7 DOKUMENTASI PEMBUATAN BALOK****Gambar L-7.1 Perakitan Tulangan****Gambar L-7.2 Pengecoran Benda Uji**



**Gambar L-7.3 Perawatan Benda Uji**

**LAMPIRAN 8 DOKUMENTASI PENGUJIAN BALOK****Gambar L-8.1 Pengujian Benda Uji****Gambar L-8.2 Benda Uji Paska Pengujian**



**Gambar L-8.3 Dokumentasi Penulis dengan Benda Uji**

**LAMPIRAN 9 PERENDAMAN SILINDER BETON TRIAL****Gambar L-9 Perendaman Silinder Beton *Trial***