

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENGGUNAAN BAJA RINGAN
HOLLOW BERISI MORTAR SEBAGAI PENGGANTI
BAJA TULANGAN TERHADAP KUAT LENTUR
BALOK
(*THE EFFECT OF LIGHT STEEL CONTAINED
MORTAR AS THE REPLACEMENT OF REINFORCING
STEEL ON FLEXURAL STRENGTH OF BEAM*)**

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



**RAKHA CITRA PERMANA ADINATA
19511221**

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

2024

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN BAJA RINGAN
HOLLOW BERISI MORTAR SEBAGAI PENGGANTI
BAJA TULANGAN TERHADAP KUAT LENTUR
BALOK
*(THE EFFECT OF LIGHT STEEL CONTAINED
MORTAR AS THE REPLACEMENT OF REINFORCING
STEEL ON FLEXURAL STRENGTH OF BEAM)*

Disusun oleh

Rakha Citra Permana Adinata
19511221

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

Diuji pada tanggal 18 Januari 2024

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing

Elvis Saputra, S.T., M.T.
NIK: 185111302

Penguji I

22.01.24

Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK: 165111301

Penguji II

Ir. Suharyatma S. T., M. T.,
NIK: 8651110201

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Yumalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D(Eng), IPM
NIK: 095110110

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa 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. Bagian-bagian tertentu dalam penulisan 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.

Yogyakarta, 18 Januari 2023

Yang membuat pernyataan,

A handwritten signature in black ink is written over a yellow 10000 Indonesian postage stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'REPUBLIK INDONESIA', '10000', and 'METERAI TEMPEL'. A unique serial number 'D5B578AKX779891400' is visible at the bottom of the stamp.

Rakha Citra Permana Adinata

(19511221)

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang Berjudul “Pengaruh Penggunaan Baja Ringan *Hollow* berisi mortar Sebagai Pengganti Baja Tulangan Terhadap Kuat Lentur Beton”. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penyusunan Tugas Akhir ini mengalami banyak hambatan yang dihadapi oleh penulis, namun berkat saran, kritik yang membangun, serta dorongan dari berbagai pihak sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir. Berkaitan dengan ini, penulis mengucapkan apresiasi yang tinggi kepada:

1. Ayah, mama, adik dan keluarga penulis yang telah berkontribusi banyak hal baik dari segi material maupun non material dan menjadi motivasi terbesar penulis untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir se maksimal mungkin,
2. Bapak Elvis Saputra, S.T, M.T.. Selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan memberikan arahan untuk penulis supaya dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik,
3. Bapak Ir. Suharyatma, S.T., M.T.. Selaku penguji Tugas Akhir, yang telah memberikan masukan, kritik maupun saran, dan memberikan evaluasi untuk lebih baik di kemudian hari,
4. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.T.. Selaku dosen penguji Tugas Akhir, yang telah memberikan masukan, kritik maupun saran, dan memberikan evaluasi untuk lebih baik di kemudian hari,
5. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
6. Bapak dan ibu dosen pengajar di Program Studi Teknik Sipil yang telah mencurahkan tenaga dan pikirannya dalam memberikan ilmu kepada saya,

semoga kelak saya dapat mengaplikasikan ilmu yang diberikan di kehidupan mendatang.

7. Bapak dan Ibu Program Studi Teknik Sipil yang telah membantu dalam mengurus segala sesuatu terkait perizinan dan surat menyurat selama perkuliahan,
8. Dahniar Rose, selaku teman, sahabat, orang terdekat dan partner yang telah saling mendukung, meluangkan waktu, memberikan semangat dan memotivasi selama penyusunan Tugas Akhir,
9. Pabeanggi Raupu, selaku partner saya dalam pengerjaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini yang saling membantu dan bekerja sama dengan baik untuk kelancaran penelitian,
10. Nuzul Rahmatullah, Hadiqra Mokoginta, Alhadi Firmansyah, Fadilla Rizki, Arie Putra, Aqil Almajid, Rizki Zahran, Hasna Anggia serta rekan rekan seperjuangan Sipil 19, tidak lupa arya satya, Andimas dan teman teman Brevity yang telah memberikan bantuan baik tenaga, waktu dan motivasinya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini,
11. Semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Akhirnya Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat pada kemudian

Yogyakarta, Januari 2023

Penulis,

Rakha Citra Permana Adinata
(19511221)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xviii
ABSTRAK	xx
ABSTRACK	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Peneliti Terdahulu	6
2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	8
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Konsep Beton Bertulang	12
3.1.1 Bahan Penyusun Beton	14
3.2 Perencanaan Campuran Beton (mix design)	20
3.3 Pengujian Benda Uji	28

3.3.1 Uji Tarik Baja	28
3.3.2 Uji Slump	28
3.3.3 Uji Tekan Beton	29
3.3.4 Uji Lentur Balok	30
3.4 Kuat Lentur	31
3.5 Lendutan, Keruntuhan, Pola Retak, dan Kekakuan	31
3.5.1 Lendutan	31
3.5.2 Keruntuhan	34
3.5.3 Pola Retak	35
3.5.4 Kekakuan	38
BAB IV METODE PENELITIAN	39
4.1 Umum	39
4.2 Variabel Penelitian	39
4.3 Teknik Pengumpulan Data	39
4.4 Bahan dan Peralatan Penelitian	40
4.4.1 Bahan yang Digunakan	40
4.4.2 Peralatan yang digunakan	43
4.5 Tahap Penelitian	51
4.5.1 Persiapan bahan	51
4.5.2 Benda Uji	56
4.5.3 Perawatan Benda Uji	59
4.5.4 Pengujian Benda Uji	59
4.6 Prosedur Pengujian	59
4.6.1 Tarik Baja	59
4.6.2 Slump Test	60

4.6.3 Kuat tekan Beton	60
4.6.4 Kuat lentur beton	61
4.7 Bagan Alir Penelitian	62
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN	65
5.1 Pengujian Material	65
5.1.1 Uji material Agregat Halus	65
5.1.2 Uji Material Agregat Kasar	68
5.2 Analisis Proporsi Campuran Beton	71
5.3 Pengujian Kuat Tekan Beton	77
5.4 Pengujian Baja Tulangan	78
5.5 Pengujian Lentur Balok	81
5.5.1 Pengujian Balok Kontrol	81
5.5.2 Pengujian Balok Variasi (BJ 02)	84
5.6 Analisis Momen Lentur Eksperimen Baja Ringan (Hollow) dan Baja Tulangan	89
5.7 Analisis Momen Lentur Teoritis Baja Ringan (Hollow) dan Baja Tulangan	96
5.8 Perbandingan Momen Lentur Eksperimen dan Teoritis	104
5.9 Analisis Lendutan Balok Bertulang Baja Ringan (Hollow) dan Baja Tulangan	104
5.10 Analisis Pola Retak dan Keruntuhan Balok Bertulang Baja Ringan (Hollow) dan Baja Tulangan	109
5.11 Analisis Kekakuan Balok Bertulang Baja Ringan dan Baja Tulangan	113
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	115
6.1 Kesimpulan	115
6.2 Saran	116

DAFTAR PUSTAKA	117
LAMPIRAN	119

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Rencana	9
Tabel 3. 1 Standar Sifat Fisik Agregat Halus	16
Tabel 3. 2 Standar Sifat Fisik Agregat Kasar	16
Tabel 3. 3 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar Bila Data Hasil uji yang Tersedia kurang dari 30	20
Tabel 3. 4 Perkiraan Kekuatan tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar yang Biasa dipakai di Indonesia	21
Tabel 3. 5 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam lingkungan khusus	22
Tabel 3. 6 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m^3) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	23
Tabel 3. 7 Syarat Minimum Kuantitas Semen beserta Maksimum Nilai FAS	24
Tabel 3. 8 Penetapan Nilai Slump	29
Tabel 4. 1 Rincian Sampel Pengujian Beton	56
Tabel 4. 2 Rencana Penulangan	57
Tabel 5. 1 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan air Agregat Halus	65
Tabel 5. 2 Uji Modulus Halus Butir Agregat Halus	66
Tabel 5. 3 Uji Kandungan Lumpur	67
Tabel 5. 4 Uji Berat Isi Gembur Agregat Halus	68
Tabel 5. 5 Uji Berat Isi Padat Agregat Halus	68
Tabel 5. 6 Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	69
Tabel 5. 7 Uji Modulus Halus Butir Agregat Kasar	69
Tabel 5. 8 Uji Berat Isi Gembur Agregat Kasar	70
Tabel 5. 9 Uji Berat Isi Padat Agregat Kasar	71
Tabel 5. 10 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton	78
Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Analisis Tulangan	81
Tabel 5. 12 Rekapitulasi Momen Nominal Eksperimen	95
Tabel 5. 13 Perbandingan Momen Lentur Eksperimen dan Teoritis	104

Tabel 5. 14 Hasil Rekapitulasi Lendutan Balok	108
Tabel 5. 15 Hasil Rekapitulasi Kekakuan Balok	114
Tabel L-5. 1 Hasil Uji BJ 01-1	131
Tabel L-5. 2 Hasil Uji BJ 01-2	132
Tabel L-5. 3 Hasil Uji BJ 01-3	133
Tabel L-5. 4 Hasil Uji BJ 02-1	134
Tabel L-5. 5 Hasil Uji BJ 02-2	135
Tabel L-5. 6 Hasil Uji BJ 02-3	136

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Grafik Tegangan-Regangan Balok Beton Tulangan Tunggal	12
Gambar 3. 2 Grafik Tegangan-Regangan Beton Tulangan Rangkap	13
Gambar 3. 3 Grafik Korelasi Tegangan-Regangan	17
Gambar 3. 4 Daerah Grafik Tegangan-Regangan	18
Gambar 3. 5 Daerah Grafik Tegangan-Regangan	19
Gambar 3. 6 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton	30
Gambar 3. 7 Ilustrasi pembebanan menggunakan metode satu titik	31
Gambar 3. 8 Ilustrasi pembebanan menggunakan metode dua titik	31
Gambar 3. 9 Perubahan Bentuk Balok Arah Y	32
Gambar 3. 10 grafik hubungan antara beban dan lendutan pada balok	33
Gambar 3. 11 Retak Lentur Murni	35
Gambar 3. 12 Ilustrasi Retak Lentur	36
Gambar 3. 13 Ilustrasi Retak Geser Lentur	36
Gambar 3. 14 Retak Puntir	37
Gambar 3. 15 Ilustrasi Retak Lekatan	38
Gambar 4. 1 Semen	40
Gambar 4. 2 Agregat Kasar	41
Gambar 4. 3 Agregat Halus	41
Gambar 4. 4 Air	41
Gambar 4. 5 Tulangan Baja	42
Gambar 4. 6 Baja Ringan Tipe hollow	42
Gambar 4. 7 Kawat Bendrat	42
Gambar 4. 8 Timbangan ohaus	43
Gambar 4. 9 Saringan Agregat	43
Gambar 4. 10 Cetakan Silinder	44
Gambar 4. 11 Cetakan Balok	44

Gambar 4. 12 Tang Catut	45
Gambar 4. 13 Alat Ukur	45
Gambar 4. 14 Oven	46
Gambar 4. 15 Ember	46
Gambar 4. 16 Kerucut Abrams	47
GambarR 4. 17 Tongkat Penumbuk	47
Gambar 4. 18 Mixer Beton	48
Gambar 4. 19 sekop	48
Gambar 4. 20 Palu Karet	49
Gambar 4. 21 Alat pengujian beton	49
Gambar 4. 22 Linear Variable Differential Transformers (LVDT)	50
Gambar 4. 23 Bending Test Machine	50
Gambar 4. 24 Sketsa Pengujian Kuat Tekan	61
Gambar 4. 25 Sketsa Pengujian Kuat Lentur	61
Gambar 4. 26 Diagram alir penelitian	63
Gambar 5. 1 Kurva Gradasi Agregat Halus	67
Gambar 5. 2 Kurva Grafik Analisis saringan Agregat Kasar Ukuran 20 mm	70
Gambar 5. 3 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan FAS	72
Gambar 5. 4 Grafik Presentasi Agregat Halus	74
Gambar 5. 5 Grafik Berat Isi Beton	75
Gambar 5. 6 Benda Uji BJ 01 – 1	82
Gambar 5. 7 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 01 -1	82
Gambar 5. 8 Benda Uji Bj 01 – 2	83
Gambar 5. 9 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 01 -2	83
Gambar 5. 10 Benda Uji BJ 01 – 3	84
Gambar 5. 11 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 01 – 3	84
Gambar 5. 12 Benda Uji Balok BJ 02 - 1	85
Gambar 5. 13 Detail Pola Keruntuhan Balok BJ 02 – 1	85
Gambar 5. 14 Detail Tulangan pada sampel BJ 02 - 1	86
Gambar 5. 15 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 02 - 1	86
Gambar 5. 16 Benda Uji Balok BJ 02 -2	86

Gambar 5. 17 Detail Pola Keruntuhan BJ 02 – 2	87
Gambar 5. 18 Detail Tulangan pada Sampel BJ 02 -2	87
Gambar 5. 19 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 02 - 2	87
Gambar 5. 20 Benda Uji Balok BJ 02 -3	88
Gambar 5. 21 Detail Pola Keruntuhan BJ 02 – 3	88
Gambar 5. 22 Detail Tulangan pada Sampel BJ 02 -3	88
Gambar 5. 23 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 02 – 3	88
Gambar 5. 24 Ilustrasi Pengujian BJ 01-1	89
Gambar 5. 25 Banding Moment Diagram (BMD) BJ 01 – 1	90
Gambar 5. 26 Ilustrasi Pengujian BJ 01-2	90
Gambar 5. 27 Banding Moment Diagram (BMD) BJ 01 – 2	91
Gambar 5. 28 Ilustrasi Pengujian BJ 01-3	91
Gambar 5. 29 Banding Moment Diagram (BMD) BJ 01 – 3	92
Gambar 5. 30 Ilustrasi Pengujian BJ 02-1	92
Gambar 5. 31 Banding Moment Diagram (BMD) BJ 02 -1	93
Gambar 5. 32 Ilustrasi Pengujian BJ 02-2	93
Gambar 5. 33 Banding Moment Diagram (BMD) BJ 02 -2	94
Gambar 5. 34 Ilustrasi Pengujian BJ 02-3	94
Gambar 5. 35 Banding Moment Diagram (BMD) BJ 02 -3	95
Gambar 5. 36 Grafik Tegangan Regangan BJ 01	98
Gambar 5. 37 Luas Penampang Baja Ringan Hollow Uk. 4 x 2	100
Gambar 5. 38 Luas Penampang Baja Ringan Hollow Uk. 3 x 2	101
Gambar 5. 39 grafik hubungan tegangan-regangan BJ 02	102
Gambar 5. 40 Grafik Retakan Pertama Hingga Kehancuran Balok Beton BJ 01-1	105
Gambar 5. 41 Grafik Retakan Pertama Hingga Kehancuran Balok Beton BJ 01-2	105
Gambar 5. 42 Grafik Retakan Pertama Hingga Kehancuran Balok Beton BJ 01-3	106
Gambar 5. 43 Grafik Retakan Pertama Hingga Kehancuran Balok Beton BJ 02-1	107

Gambar 5. 44 Grafik Retakan Pertama Hingga Kehancuran Balok Beton BJ 02-2	107
Gambar 5. 45 Grafik Retakan Pertama Hingga Kehancuran Balok Beton BJ 02-3	108
Gambar 5. 46 Grafik Perbandingan BJ 01 - BJ 02	109
Gambar 5. 47 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 01-1	110
Gambar 5. 48 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 01-2	110
Gambar 5. 49 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 01-3	110
Gambar 5. 50 Benda uji BJ 02 -1 setelah Uji Lentur	111
Gambar 5. 51 Benda uji BJ 02 -2 setelah Uji Lentur	111
Gambar 5. 52 Benda Uji BJ 02 -3 Setelah Uji Lentur	111
Gambar 5. 53 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 02-1	112
Gambar 5. 54 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 02-2	112
Gambar 5. 55 Pola Keruntuhan Benda Uji 02-3	112
Gambar L-1. 1 Surat Izin Pemakaian Lab. Mekanika Rekayasa dan Struktur	120
Gambar L-1. 2 Surat Izin Pemakaian Lab. Bahan Konstruksi Teknik	121
Gambar L-2. 1 Ember	122
Gambar L-2. 2 Kerucut Abrams	122
Gambar L-2. 3 Mixer Concrete	123
Gambar L-2. 4 Oven	123
Gambar L-2. 5 Palu Karet	123
Gambar L-2. 6 Penggaris	123
Gambar L-2. 7 Saringan Agregat	124
Gambar L-2. 8 Sekop	124
Gambar L-2. 9 Timbangan Ohaus	125
Gambar L-2. 10 Cetakan Silinder	125
Gambar L-2. 11 Tongkat Penumbuk	125
Gambar L-2. 12 Tulangan B _j 01 & B _j 02	126
Gambar L-2. 13 Cetakan Balok	126
Gambar L-2. 14 Mesin Uji Tekan	126
Gambar L-3. 1 Pemasangan Tulangan Pada Cetakan	127

Gambar L-3. 2 Pengisian Cetakan Oleh Beton Segar	127
Gambar L-3. 3 Pengecekan Nilai Slump	128
Gambar L-3. 4 Cetakan Telah Terisi Beton	128
Gambar L-3. 5 Pemberian Cat Pada Sampel	129
Gambar L-3. 6 Sampel Diberi Garis Kotak Dimensi 5 cm	129
Gambar L-4. 1 Peletakan Sampel Pada Tumpuan	130
Gambar L-4. 2 Pengujian Sampel	130
Gambar L-4. 3 Sampel Setelah Diuji	130

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Surat Perizinan Laboratorium	120
LAMPIRAN 2 Alat dan Bahan	122
LAMPIRAN 3 Dokumentasi Pembuatan Sampel	127
LAMPIRAN 4 Dokumentasi Pengujian Sampel	130
LAMPIRAN 5 Hasil Pengujian Sampel	131

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

C_c	= <i>Concrete compression</i>
C_s	= <i>Concrete Strength</i>
M_n	= Momen Nominal (kNm)
W	= Persentase berat agregat halus terhadap agregat kasar
K	= Modulus halus agregat kasar
P	= Modulus halus agregat halus
C	= Modulus halus agregat campuran
M	= Nilai tambah (MPa)
S_r	= Deviasi standar rencana (MPa)
f_{cr}	= Kuat tekan beton rata-rata rencana (MPa)
f'_c	= Kuat tekan yang disyaratkan (MPa)
W_h	= Perkiraan air untuk agregat halus
W_k	= Perkiraan air untuk agregat kasar
BJ_{AG}	= Berat jenis agregat gabungan
BJ_{AH}	= Berat jenis agregat halus
BJ_{AK}	= Berat jenis agregat kasar
%AH	= Persentase agregat halus
%AK	= Persentase agregat kasar
P_y	= Beban saat kondisi leleh (N)
P_u	= Beban saat kondisi <i>ultimate</i> (N)
A	= Luas penampang (mm^3)
F_y	= Kuat tarik (MPa)
F_u	= Kuat tarik <i>ultimate</i> (MPa)
Δx	= lendutan (mm)
P	= beban (N)
L	= panjang balok (mm)

a	= jarak tumpuan ke titik pembebanan (mm)
x	= letak tinjauan lendutan dari tumpuan (mm)
E	= modulus elastisitas (Mpa)
I	= <i>inersia</i> (mm^4)
K	= Kekakuan (kN/mm)
A	= Luas penampang (mm^2)
ϵ_c'	= regangan beton
ΔL	= perubahan panjang beton (mm)
L0	= panjang awal (mm)
σ	= Kuat lentur benda uji (Mpa)
b	= Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)
h	= Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

ABSTRAK

Pembangunan yang terjadi di Indonesia mengalami perkembangan pesat yang berdampak pada peningkatan kebutuhan material. Kebutuhan material juga perlu memperhatikan kualitas elemen struktural. Baja tulangan merupakan salah satu material penting dalam struktural yang memiliki sifat signifikan dalam menahan gaya tarik, khususnya pada beton bertulang. Beton bertulang juga memiliki kelemahan utama yaitu, rendahnya kekuatan persatuan beton yang berdampak pada berat beton sehingga memengaruhi kekuatan struktur bangunan. Hal ini menjadikan banyak penelitian dengan inovasi mengenai perkembangan beton bertulang yang lebih ringan tanpa mengurangi fungsi dan ketahanannya. Salah satu inovasi yang akan dilakukan adalah mengganti baja tulangan menggunakan baja ringan. Baja ringan mempunyai berat yang lebih rendah jika dibandingkan dengan baja tulangan. Sehingga dalam penelitian ini menggunakan baja ringan sebagai pengganti baja tulangan. Baja ringan yang digunakan pada tulangan rangkap adalah tipe *hollow* ukuran 4x2 untuk daerah tarik dan 3x2 pada daerah tekan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan baja ringan berisi mortar sebagai pengganti baja tulangan terhadap kuat lentur. Metode yang digunakan dalam pengujian kuat lentur menggunakan 2 (dua) titik pembebanan serta sampel pengujian di pasang LVDT untuk mengetahui lendutan yang terjadi. Selain itu, pada saat pengujian juga diamati keruntuhan pada balok beserta dengan pola retak yang terjadi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbandingan antara nilai momen nominal eksperimental dan momen nominal teoritis menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu besar. Kemudian nilai momen nominal eksperimen pada balok bertulang baja ringan naik sebesar 1,84 kNm atau sebesar 18,91% terhadap balok bertulang baja. Tetapi, lendutan pada beban maksimum yang terjadi dalam beton bertulang baja ringan memiliki nilai yang lebih kecil sebesar 23% atau sebesar 5,9 mm. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa beton dengan baja ringan dapat meningkatkan momen nominal dan kuat lentur, tetapi lendutan yang terjadi lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa balok dengan baja ringan memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan balok berbaja tulangan.

Kata kunci: Beton bertulang, Baja ringan, Kuat Lentur, Lendutan

ABSTRACT

Development taking place in Indonesia is experiencing rapid development which has an impact on increasing material needs. Material requirements also need to pay attention to the quality of structural elements. Reinforcing steel is an important structural material that has significant properties in resisting tensile forces, especially in reinforced concrete. Reinforced concrete also has a major weakness, namely, the low unitary strength of the concrete which has an impact on the weight of the concrete and thus affects the strength of the building structure. This has led to a lot of research and innovation regarding the development of lighter reinforced concrete without reducing its function and durability. One of the innovations that will be carried out is replacing reinforcing steel with lightweight steel. Light steel has a lower weight compared to conventional steel. So this research uses light steel as a substitute for conventional reinforcing steel. The light steel used in double reinforcement is the hollow type measuring 4x2 for the tension area and 3x2 for the compression area.

This research aims to determine the effect of using mild steel filled with mortar as a substitute for conventional reinforcing steel on flexural strength. The method used in flexural strength testing uses 2 (two) loading points and the test sample is installed in an LVDT to determine the deflection that occurs. Apart from that, during the test, failure was also observed in the beam along with the crack pattern that occurred.

The research results indicate that the comparison between the experimental nominal moment values and theoretical nominal moment values shows a significant difference. The experimental nominal moment value on the lightweight steel-reinforced beam decreases by 0.39 or 14% compared to the steel-reinforced beam. However, the deflection at the maximum load in lightweight steel-reinforced concrete has a smaller value, reducing by 23% or 5.9 mm. From these results, it can be concluded that lightweight steel-reinforced concrete can increase nominal moment and flexural strength, but the deflection is smaller. This suggests that lightweight steel-reinforced concrete has a more brittle nature than conventional reinforced concrete, which can be hazardous when applied to building structures.

Keywords: *reinforced concrete, lightweight steel, flexural strength, deflection*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan yang terjadi di Indonesia mengalami perkembangan pesat akibat pemerataan infrastruktur yang sedang dilakukan pemerintah. Hal ini berdampak pada kebutuhan material dalam pembangunan yang meningkat. Tidak hanya kuantitas yang ditingkatkan tetapi perlu diperhatikan kualitas elemen struktural yang ramah lingkungan sebagai upaya menjaga keseimbangan alam. Salah satu elemen struktural adalah beton bertulang. Beton bertulang merupakan campuran antara beton dengan baja menjadi sebuah material komposit.

Beton mempunyai kelebihan diantaranya, mempunyai kuat tekan yang tinggi, tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan oleh kondisi lingkungan. Tetapi beton juga mempunyai kelemahan, yaitu lemah terhadap kuat tarik beton (Dewi, dan Suandi, 2021). Oleh sebab itu, beton bertulang digunakan sebagai pencegahan terhadap beton yang tidak dapat menahan beban lentur secara signifikan. Menurut Hastono, 2013, gaya yang bekerja pada struktur, seperti beban mati, beban hidup, serta beban tambahan seperti beban angin, susut dan perubahan suhu dapat menyebabkan lentur dan deformasi pada elemen struktur. Peningkatan beban secara berkala dapat menyebabkan keruntuhan pada elemen struktur. Beton bertulang juga memiliki kelemahan utama yaitu, rendahnya kekuatan persatuan beton yang berdampak pada berat beton yang dapat mempengaruhi pada struktur. Baja tulangan yang digunakan pada tulangan memiliki kandungan karbon (C) yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja ringan (Khodir, 2017). Penggunaan karbon yang berlebihan pada komposisi baja akan mengakibatkan efek rumah kaca yang dapat menyebabkan pemanasan global. Sehingga, diperlukan inovasi untuk meningkatkan kuat lentur beton dengan bahan yang ramah lingkungan.

Berbagai upaya dan metode dilakukan guna meningkatkan kuat lentur beton yang berbasis ramah lingkungan. Salah satu upaya yang dilakukan adalah mengganti baja tulangan pada tulangan longitudinal dengan baja ringan. Dalam

perhitungan teoritis, kuat lentur pada balok beton bertulang yang menggunakan baja ringan memiliki kuat lentur yang lebih tinggi sebesar 20,3% dibanding dengan beton dengan tulangan baja berdiameter 12 mm (Budi Hastono, 2013). Pada aspek berat volume beton, Penelitian yang dilakukan oleh Kahono, didapatkan berat satuan rata-rata beton tulangan baja sebesar 2337.648 kg/cm³. Selain itu, baja ringan memiliki kandungan karbon sebesar 0,30% (Royani, 2020), relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan baja tulangan sebesar 2,1% (Irwan dkk, 2021).

Berdasarkan ulasan diatas, penulis mengambil penelitian yang berjudul “Pengaruh Penggunaan Baja Ringan *Hollow* berisi mortar Sebagai Pengganti Baja Tulangan Terhadap Kuat Lentur Balok” yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan baja ringan terhadap kuat lentur. Pengujian dilakukan setelah umur 28 hari dengan menggunakan metode pembebanan melalui dua titik. Selain itu, pada saat pengujian juga diamati keruntuhan pada balok beserta dengan pola retak yang terjadi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan momen nominal secara teoritis dengan momen nominal eksperimen?
2. Bagaimana perbandingan momen nominal eksperimen antara balok bertulang baja dengan baja ringan *hollow*?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan baja ringan sebagai pengganti tulangan baja tulangan terhadap lendutan yang terjadi pada balok?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui perbandingan momen nominal secara teoritis dengan momen nominal eksperimen.

2. Mengetahui perbandingan momen nominal eksperimen antara beton bertulang baja tulangan dengan baja ringan *hollow*.
3. Mengetahui pengaruh penggunaan baja ringan sebagai pengganti tulangan baja tulangan terhadap lendutan yang terjadi pada balok.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh melalui penelitian ini antara lain sebagai berikut.

1. Manfaat bagi penulis.
 - a. Mengetahui perbandingan momen nominal eksperimen, lendutan, serta kuat lentur antara balok beton bertulang baja ringan berisi mortar dengan balok bertulang baja.
 - b. Menambah pengetahuan apakah baja ringan berisi mortar dapat dimanfaatkan sebagai tulangan baja pada balok beton bertulang.
2. Manfaat bagi pembaca.
 - a. Menjadi bahan pertimbangan untuk penggunaan baja ringan berisi mortar untuk pengganti baja tulangan pada balok beton bertulang.
 - b. Menjadi referensi penggunaan baja ringan berisi mortar sebagai pengganti tulangan baja pada balok beton bertulang

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian sebagai tinjauan agar penelitian terarah dan mudah dipahami, untuk itu diperlukan adanya batasan penelitian sebagai berikut.

1. Penelitian dibatasi pada pengujian kuat lentur.
2. Metode yang digunakan dalam pengujian kuat lentur menggunakan pembebanan melalui dua titik sesuai SNI 4431-2011.
3. Metode Mix Design menggunakan SNI 2834-2000.
4. Cement Portland tipe 1 yang digunakan adalah semen tiga roda.
5. Agregat kasar yang digunakan berukuran maksimum 20 mm berasal dari clereng.

6. Agregat halus yang digunakan berukuran diameter maksimum 4,8 mm berasal dari progo.
7. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
8. Kuat tekan rencana yang digunakan adalah f_c 20 Mpa.
9. Perencanaan tulangan menggunakan tulangan rangkap dengan jumlah 2 untuk daerah tekan dan 2 untuk daerah tarik.
10. Baja tulangan yang digunakan adalah polos dengan diameter 6 mm sebagai sengkang dan ulir berdiameter 10 mm sebagai tulangan rangkap.
11. Baja ringan yang digunakan adalah baja ringan tipe Hollow ukuran 3x2 pada daerah tekan dan 4x2 pada daerah tarik dengan diisi menggunakan mortar.
12. Pengisian mortar diabaikan pada analisis momen nominal.
13. Benda uji untuk kuat lentur berjumlah 6 berbentuk balok dengan berukuran lebar 150 mm tinggi 200 mm dan panjang 1580 mm dengan selimut beton 40 mm.
14. Perawatan balok beton bertulang selama 28 hari menggunakan karung goni basah.
15. Benda uji untuk kuat tekan berjumlah 3 silinder berdiameter 150 mm dengan tinggi 300 mm.
16. Perawatan silinder beton direndam selama 28 hari..
17. Pengujian balok dan silinder beton dilakukan setelah umur 28 hari.
18. Pengujian serta acuan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.
 - a. Pengujian serta acuan dalam uji *properties*.
 1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus menggunakan SNI 03-1970-1990.
 2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar menggunakan SNI 03-1969-1990.
 3. Pengujian analisis saringan agregat halus menggunakan SNI 03-1968-1990.

4. Pengujian analisis saringan agregat kasar menggunakan SNI 03-1968-1990.
 5. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus menggunakan SNI 03-4804-1998.
 6. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat kasar menggunakan SNI 03-4804-1998.
 7. Pengujian lolos saringan no.200 (uji kandungan lumpur agregat halus) menggunakan SNI 03-4142-1996.
- b. Pengujian serta acuan dalam pengujian benda uji.
1. Pengujian kuat tarik baja dengan SNI 07-2529-1991.
 2. Pengujian slump beton menggunakan SNI 1972-2008.
 3. Pengujian kuat tekan beton menggunakan SNI 1974-2011.
 4. Pengujian kuat lentur dengan dua titik pembebanan menggunakan SNI 4431-2011

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peneliti Terdahulu

Penelitian pada pengaruh penggantian baja ringan pada beton bertulang sudah pernah dilakukan sebelumnya oleh beberapa peneliti terdahulu, sehingga dapat dijadikan referensi yang nantinya digunakan dalam penelitian ini. Peneliti mengambil jurnal terdahulu sebagai referensi dalam penelitian ini. Jurnal yang digunakan sebagai referensi sebagai berikut.

1. K. Budi Hastono (2013) melakukan penelitian tentang penggunaan baja ringan (Cold-Formed) type *hollow* sebagai tulangan pada balok beton bertulang dalam memikul beban lentur.

Pada Penelitian ini dilakukan pengujian pendahuluan untuk menguji sifat fisik dan mekanik bahan. Pengujian lentur yang digunakan menggunakan beban dua titik pembebanan hingga terjadi retak lentur pada balok beton bertulang, benda uji berdimensi 15x20x60cm dengan variasi tulangan baja 12mm dan tulangan baja ringan tipe *Hollow* menggunakan selimut beton 40 dan 70 mm. Penelitian ini menunjukkan penggunaan baja ringan tipe *Hollow* menghasilkan kuat lentur lebih besar 23.2% dibandingkan dengan ulangan baja konvensional.

2. Yuyu Oktarinata, Indra Gunawan, Donny Fransiskus Manalu (2020) melakukan penelitian mengenai kapasitas lentur balok komposit beton dengan baja ringan.

Penelitian ini dilakukan dengan pengujian kuat lentur pada balok beton bertulang dengan mutu beton 17 MPa yang dibebani 2 titik pembebanan. Benda uji terdiri dari 4 variasi dimana variasi A merupakan balok dengan baja tulangan konvensional (rangkap), Variasi B adalah balok dengan tulangan baja ringan (rangkap), Variasi C adalah balok dengan baja ringan (tunggal), Variasi D adalah balok dengan tulangan baja konvensional di daerah tekan dan dan baja ringan di daerah tarik. Berdasarkan analisis teoritis nilai momen lentur untuk variasi A = 3.726 kNm, B = 5.460 kNm, dan D = 6.780 kNm; nilai

lendutan untuk variasi A = 0.791 mm, B = 0.575 mm, C = 0.532 mm, dan D = 0.655 mm. Berdasarkan hasil pengujian, nilai kuat lentur variasi A = 16.313 Mpa, B = 10.679 Mpa, C = 10.679 Mpa, dan D = 13.309 Mpa; nilai momen lentur untuk variasi A = 13.199 kNm, B = 9.561 kNm, C = 8.913 kNm, dan D = 11.248 kNm; nilai lendutan untuk variasi A = 2.173 mm, B = 2.420 mm, C = 2.187 mm, dan D = 2.420 mm. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa variasi A memiliki nilai kuat lentur dan momen lentur yang lebih besar dengan nilai lendutan yang lebih kecil dibandingkan dengan balok variasi B, C, dan D.

3. Khala, dkk (2021) melakukan penelitian berjudul “Uji Lentur Balok Beton Bertulang Baja Ringan Dengan Skema Tulangan Tunggal”

Pada penelitian ini menggunakan 4 skema dimana skema 1 merupakan balok beton dengan tulangan baja ringan kanal C, skema 2 menggunakan kanal c tanpa sayap, skema 3 menggunakan kanal c tanpa sayap terpisah dan skema 4 merupakan balok beton bertulang konvensional. Mutu beton yang direncanakan adalah beton dengan $f'c$ 20 Mpa dengan benda uji berdimensi 15x15x60 cm. Pengujian yang dilakukan menggunakan metode dua pembebanan beban titik. Hasil dari penelitian ini adalah skema 1 dengan baja ringan kanal c menghasilkan kuat lentur terbesar yaitu 7.48 Mpa, sedangkan dengan skema tulangan konvensional menghasilkan kuat lentur sebesar 5.06 Mpa.

4. Sari Utami Dewi, Ahmat Suandi (2021) melakukan penelitian berjudul “Analisa Kuat Lentur Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Profil Baja Ringan sebagai Tulangan”

Pada penelitian ini akan menggunakan tulangan baja ringan kanal C sebagai tulangan balok. Beberapa tahap yang dilakukan adalah pengadaan bahan dan perawatan, pemeriksaan bahan dan peralatan, perencanaan campuran beton, pembuatan beton, perawatan beton (*curing*), pengujian menggunakan metode pembebanan dua titik dan analisa hasil pengujian beton. Dari Hasil penelitian ini Baja tulangan ringan menunjukkan nilai kuat lentur sebesar 11.816 sedangkan baja normal sebesar 9.993 Mpa, sehingga dari hasil tersebut baja ringan tipe kanal C dapat digunakan sebagai bahan pengganti baja tulangan.

5. Mas Kahono Pekik Hari Prasetyo, Mochammad Solikin (2021) melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Penggunaan Baja Ringan Profil *Hollow* terhadap Kuat Lentur Balok Beton”

Pada penelitian tersebut menggunakan baja ringan profil *Hollow* dengan ukuran 4x2 dan 4x4 yang dibandingkan dengan balok bertulang pejal konvensional. Dari hasil penelitian didapatkan berat satuan rata-rata sebesar 2337.648 kg/cm³. Pengujian kuat lentur menggunakan metode dua titik pembebanan. Kuat lentur beton dengan *Hollow* ukuran 4x2 dan 4x4 masing masing meningkat 13.86% dan 18.48% jika dibandingkan dengan beton normal.

2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya yang telah dijelaskan, maka dapat penulis simpulkan terdapat perbedaan penelitian yang akan diteliti. Berikut adalah perbedaan penelitian sebelumnya dan penelitian yang akan diteliti oleh penulis dan ditampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Rencana

Penelitian Terlebih Dahulu						Rencana Penelitian
Penelitian	K. Budi Hastono (2013)	Yuyu Oktarinata ,dkk (2020)	Khala, dkk (2021)	Dewi, dkk (2021)	Mas Kahono, dkk (2021)	Rakha C (2023)
Judul Penelitian	Penggunaan baja ringan (<i>Cold-Formed</i>) type <i>hollow</i> sebagai tulangan pada balok beton bertulang dalam memikul beban lentur	Kapasitas lentur balok komposit beton dengan baja ringan	Uji Lentur Balok Beton Bertulang Baja Ringan Dengan Skema Tulangan Tunggal	Analisa kuat lentur balok bertulang dengan menggunakan profil baja ringan sebagai tulangan	Pengaruh penggunaan baja ringan profil <i>Hollow</i> terhadap kuat lentur beton	Pengaruh penggunaan Baja ringan sebagai bahan pengganti baja tulangan terhadap kuat lentur beton.
Tujuan	<ol style="list-style-type: none"> Untuk mengetahui pengaruh penggunaan tulangan baja ringan tipe <i>hollow</i> terhadap kuat lentur Untuk mengetahui pengaruh beton <i>decking</i> terhadap kuat lentur beton 	<ol style="list-style-type: none"> Untuk mengetahui pengaruh penggunaan baja ringan sebagai tulangan pada balok bertulang terhadap kuat lentur balok. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan baja ringan sebagai tulangan pada balok bertulang terhadap lendutan balok. 	<ol style="list-style-type: none"> Untuk mengetahui pengaruh baja ringan dengan skema tulangan tunggal pada beton bertulang terhadap kuat lentur beton 	Untuk menganalisis perbedaan kuat lentur balok beton menggunakan tulangan baja ringan dengan balok beton menggunakan tulangan baja serta menghitung nilai kekakuannya.	<ol style="list-style-type: none"> Untuk mengetahui informasi pengaruh penggunaan baja ringan sebagai tulangan pada balok bertulang terhadap kuat lentur balok Untuk mengetahui perbandingan biaya menggunakan pengganti baja ringan. 	<ol style="list-style-type: none"> Untuk mengetahui perbandingan kuat lentur eksperimen antara beton bertulang baja tulangan dengan baja ringan Untuk mengetahui pengaruh penggunaan baja ringan sebagai pengganti tulangan baja terhadap kuat lentur beton. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan baja ringan sebagai pengganti tulangan baja terhadap berat volume balok
Metode pengujian	Pembebanan dengan dua titik.	Pembebanan dengan dua titik	Pembebanan dengan dua titik	Pembebanan dengan dua titik	Pembebanan dengan satu titik	Pembebanan dengan dua titik

Lanjutan tabel 2.1 perbandingan penelitian terdahulu dan penelitian rencana

Penelitian Terlebih Dahulu						Rencana Penelitian
Penelitian	K. Budi Hastono (2013)	Yuyu Oktarinata ,dkk (2020)	Khala, dkk (2021)	Dewi, dkk (2021)	Kahono, dkk (2021)	Rakha C (2023)
Tipe Baja ringan	Tipe Hollow	Profil C	Kanal C	Kanal C	Hollow 4x2, Hollow 4x4	<i>Hollow</i> 3x2 pada daerah tekan, dan 4x2 pada daerah tarik.
Hasil Penelitian	Penggunaan tulangan baja ringan khususnya tipe <i>Hollow</i> memberikan nilai kuat lentur lebih besar 23.2% dibandingkan dengan tulangan baja ulir pada balok beton bertulang.	Pengaruh penggunaan baja ringan sebagai tulangan pada balok beton bertulang berdasarkan hasil uji, nilai lendutan balok yang menggunakan baja ringan sebagai tulangan pada balok beton menghasilkan nilai lendutan yang lebih besar dari beton normal dengan nilai untuk variasi A sebesar 2,173 mm, B sebesar 2,42 mm, C sebesar 2,187 mm dan D sebesar 2,42 mm. Selisih nilai lendutan yang diperoleh berdasarkan analisis teoritis dan hasil uji untuk variasi A sebesar 274,7%, B sebesar 420,8%, C sebesar 411,1%, dan D sebesar 369,5%.	Hasil dari pengujian menunjukan bahwa skema 1 memiliki kuat lentur terbesar dibanding dengan lainnya, meskipun skema ke 2 dan 3 memiliki rasio penulangan yang sama, skema kedua memiliki kuat lentur 0.24 Mpa lebih besar daripada skema ketiga, dengan nilai 5.76 Mpa. Beton bertulang dengan tulangan konvensional menghasilkan kuat lentur sebesar 5.06 Mpa.	1. Nilai kuat lentur rerata sampel kanal C desain B yaitu 11,816 Mpa dan baja tulangan didapat nilai kuat lentur 9,993 Mpa, 2. Nilai kekakuan rerata pada sampel Baja ringan kanal C dengan design B nilai tertinggi dengan nilai 20,16x106 dan sampel baja tulangan didapat nilai 16,02x106 sehingga dengan hasil yang telah didapat ini maka baja ringan kanal C digunakan sebagai alternatif pengganti pada tulangan baja tulangan khususnya pada balok dengan dimensi 15x15 cm.	jika diberi baja ringan profil hollow, maka kekuatannya akan bertambah masing masing 13,86% dengan penambahan baja ringan profil hollow 4x2 dan 18,48% jika diberi baja ringan profil hollow 4x4	

Berdasarkan uraian tabel tersebut maka dapat disimpulkan bahwa terdapat beberapa perbedaan antara penelitian sebelumnya dan sekarang seperti pada beberapa variabel berikut:

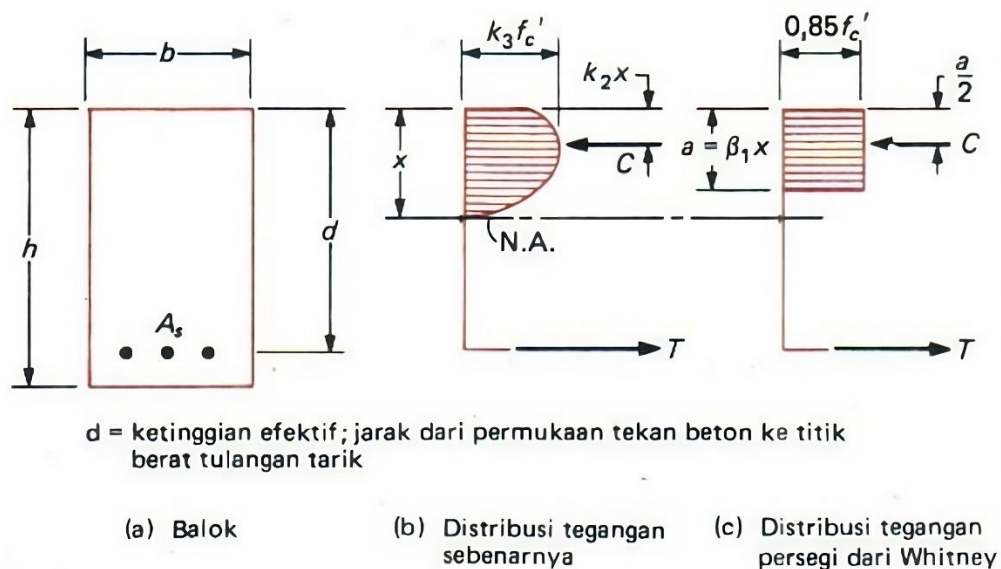
1. Rencana penggunaan baja ringan menggunakan 2 ukuran *Hollow* yaitu pada daerah tekan menggunakan *Hollow* dengan ukuran 3x2 dan daerah tarik menggunakan *Hollow* 4x2.
2. Pada penelitian ini tidak berfokus pada kuat lentur tetapi pada momen lentur dan lendutan yang dialami balok bertulang.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Konsep Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan material bangunan yang digunakan dalam dunia konstruksi. Beton bertulang terbagi dalam 2 jenis yaitu, balok dengan tulangan rangkap dan yang kedua balok dengan tulangan tunggal. Perbedaan kedua jenis tersebut adalah jumlah tulangan pada area memanjangnya. Pada balok beton tulangan tunggal, tulangan didesain untuk menahan gaya tarik. Sedangkan pada tulangan rangkap, tulangan didesain untuk menahan gaya tarik dan gaya tekan. Pada balok beton bertulang, material tulangan berperan dalam menopang momen lentur yang terjadi pada sumbu memanjang balok. Berikut merupakan diagram tegangan-regangan antara balok beton tulangan tunggal dengan tulangan rangkap yang terdapat pada Gambar 3.1 dan 3.2.



Gambar 3. 1 Grafik Tegangan-Regangan Balok Beton Tulangan Tunggal

(Sumber: Simatupang, 2013)

Berdasarkan diagram pada gambar 3.1, maka nilai momen nominal (M_n) untuk balok beton tulangan tunggal dapat dilihat dalam persamaan berikut:

$$C_c = 0,85 \times f'_c \times a \times b \quad (3.1)$$

$$T_s = A_s \times f_y \quad (3.2)$$

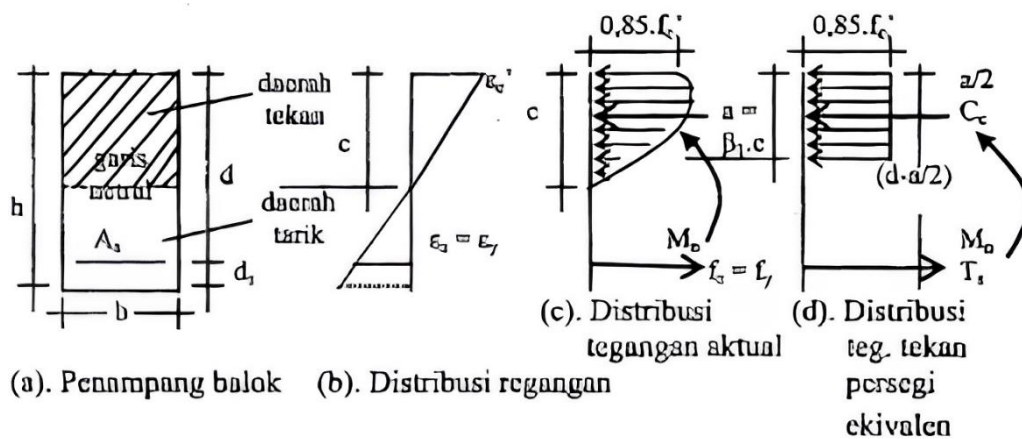
$$M_n = C_c \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (3.3)$$

$$M_n = 0,85 \times f'_c \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (3.4)$$

Atau

$$M_n = T_s \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (3.5)$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (3.6)$$



Gambar 3. 2 Grafik Tegangan-Regangan Beton Tulangan Rangkap
(Sumber: Simatupang, 2013)

Sedangkan persamaan dalam menentukan momen nominal (m_n) pada beton tulangan rangkap berdasarkan diagram diatas dapat dilihat pada persamaan berikut ini.

$$C_s = A_s' \times f_s \quad (3.7)$$

$$M_n = C_c \left(d - \frac{a}{2}\right) + C_s (d-d') \quad (3.8)$$

$$M_n = 0,85 \times f'_c \times b \times a \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' \times f_s \times (d-d') \quad (3.9)$$

Menurut SNI 03-2847-2002, beton bertulang adalah campuran beton menggunakan material baja tulangan dengan jumlah dan ukuran tertentu yang telah dihitung persyaratan minimal secara teoritis tanpa atau dengan prategang, serta didesain dapat menopang struktur dengan beton dan tulangan tersebut.

3.1.1 Bahan Penyusun Beton

Beton merupakan bahan konstruksi yang penting dalam suatu proyek konstruksi, yang terbentuk melalui komposisi proporsional dari semen air, agregat kasar dan agregat halus. Campuran ini dirancang untuk mengeras dalam periode waktu tertentu (Rosida, 2007). Menurut standar SNI 2847-2019, beton didefinisikan sebagai gabungan semen hidrolis, sering disebut *portland cement*, dengan agregat halus dan kasar, serta air. Sedangkan bahan penyusun beton bertulang adalah tulangan baja dan beton yang keduanya jelas material yang berbeda atau biasa disebut dengan material komposit. (Rusdianto & Septiropa, 2005). Berikut merupakan penjelasan bahan penyusun beton secara komprehensif.

1. *Cement Portland*

Semen *portland* merupakan semen yang termasuk kategori semen hidrolis. Material ini berbentuk bubuk berwarna abu-abu dan memiliki kandungan tinggi kalsium dan aluminium silika. Batuan kapur yang memiliki kandungan CaO , serta lempung yang banyak mengandung SiO_2 dan Al_2O_3 adalah bahan dasar pembuatan semen. Bahan-bahan tersebut kemudian dicampur dengan gips dalam jumlah yang telah ditetapkan, lalu dibakar dengan klinker dan didinginkan (Setiawan, 2016).

Berdasarkan SNI 2049:2015 semen *portland* dibagi menjadi 5 menurut penggunaan dan jenisnya, yaitu.

- a. Tipe 1 : semen yang digunakan untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
- b. Tipe 2 : semen yang dalam penggunaannya memerlukan daya tahan pada sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c. Tipe 3 : semen yang digunakan diperlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Tipe 4 : semen yang digunakan memerlukan hidrasi kalor yang rendah

- e. Tipe 5 : Semen yang memerlukan ketahanan tinggi pada sulfat dalam penggunaannya.

2. Air

Air mempunyai peranan penting dalam pembuatan beton bertulang guna memicu proses kimiawi pada semen, menghidrasi agregat dan bahan perekat, serta memudahkan proses pekerjaan beton. Namun, perlu diperhatikan bahwa air yang digunakan dalam pembuatan dan perawatan telah memenuhi persyaratan tertentu, seperti bebas dari kandungan minyak, asam, alkali, garam, bahan organik, dan bahan lain yang dapat merusak kualitas beton maupun merusak tulangan baja yang didalamnya (Dewi dkk, 2021).

3. Agregat

Menurut fassa (2017) menyatakan bahwa agregat adalah istilah umum yang mencakupi pasir, batu kerikil, dan batu pecah yang digunakan dalam campuran beton bertulang. Fungsi agregat sendiri adalah mengurangi penyusutan pada beton dan mempengaruhi efisiensi dari beton yang dihasilkan. Agregat mempunyai peranan yang penting karena mengisi sekitar 60-80% dari total *volume* pada beton. Karakteristik yang dimiliki pada agregat baik fisik, kimia maupun mekanik memiliki dampak signifikan terhadap kuat tekan, lentur, dan durabilitas pada beton.

Hasil dari perhitungan mengenai ukuran partikel agregat juga menggambarkan modulus partikel butiran halus, yang merupakan indeks yang menjadi tolak ukur tingkat kehalusan atau kekerasan agregat. Semakin tinggi nilai modulus butiran agregat, maka ukuran partikel agregat semakin besar. Hubungan antara modulus butiran agregat kasar, agregat halus dan campuran agregat (kombinasi dari agregat kasar dan halus) dapat dijelaskan sebagai berikut.

$$W = \frac{(K-C)}{(C-P)} \times 100\% \quad (3.10)$$

dengan,

W = Persentase berat agregat halus terhadap agregat kasar.

K = Modulus halus agregat kasar.

P = Modulus halus agregat halus.

C = Modulus halus agregat campuran.

Standar sifat fisik agregat kasar dan halus dapat dilihat pada tabel 3.1 dan tabel 3.2.

Tabel 3. 1 Standar Sifat Fisik Agregat Halus

Pengujian	Satuan	Nilai	Rujukan
Kadar air	%	0-10	SNI-1971-2011
Berat Jenis	Gr/cm ³	2.5-2.7	SNI-1970-2008
Penyerapan	%	0-10	SNI-1970-2008
Berat isi	Gr/cm ³	1.4-1.9	SNI-03-4804-1998
Kadar Organik	Warna	<i>Grid 3 Orange</i>	SNI-03-2816-2014

(Sumber: Pramesti, dkk, 2022)

Tabel 3. 2 Standar Sifat Fisik Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Satuan	Nilai	Rujukan
Kadar air	%	0-10	SNI-1971-2011
Berat Jenis	Gr/cm ³	2.5-2.7	SNI-1970-2008
Penyerapan	%	0-10	SNI-1970-2008
Berat Isi	Gr/cm ³	1.4-1.9	SNI-03-4804-1998
Kekerasan	%	<5	SK SNI S-04-1989-F

(Sumber: Pramesti, dkk, 2022)

4. Tulangan Baja

Tulangan baja merupakan komponen yang vital dalam pembuatan beton bertulang. Karena berfungsi dalam menentukan kekuatan struktur konstruksi. Dalam desain beton bertulang, terdapat dua karakteristik fisik penting dari tulangan baja yang digunakan, yaitu modulus elastisitas (E_s) dan tegangan leleh (f_y).

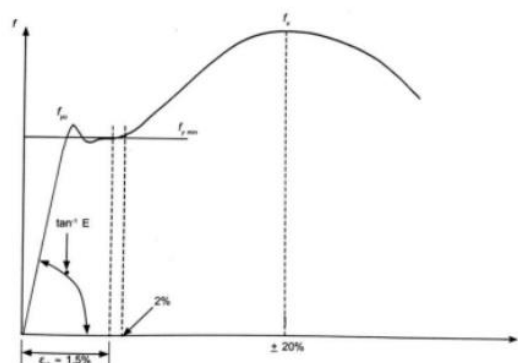
Salah satu metode yang digunakan dalam mengetahui dan menguji tegangan leleh pada suatu material baja adalah dengan mengacu tolak ukur pada SII 0136-84. Tegangan leleh pada baja adalah titik di mana baja mengalami kenaikan

tegangan tanpa adanya penambahan regangan lebih lanjut. Sementara itu, modulus elastisitas baja adalah kemiringan awal dari kurva tegangan-regangan di daerah elastis. Pada SNI 03-2846-2002 ditetapkan bahwa modulus elastisitas material baja memiliki nilai 200 Gpa atau 200.000 Mpa.

Menurut SNI 2052-2017, baja tulangan memiliki dua tipe tulangan, yaitu tulangan ulir (*deformed*) dan tulangan polos (*plain*). Namun pada pembaharuan SNI 2847-1019 pasal 20, tulangan dan kawat non prategang wajib memiliki ulir, kecuali penggunaan kawat polos atau batang sebagai tulangan spiral diperbolehkan. Sementara itu, komponen logam lain seperti baut angkur, pelat ring, atau baja polos yang digunakan dalam *joint* konstruksi, umumnya tidak dianggap sebagai tulangan baja.

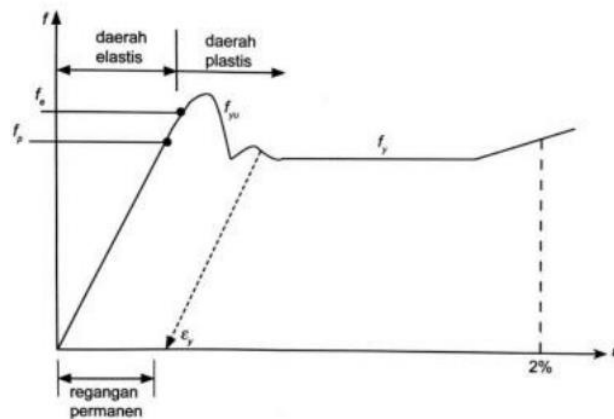
Pada perancangan struktur beton bertulang, sangat penting untuk memahami sifat-sifat mekanik baja yang unik, seperti modulus elastisitas (E_s) dan tegangan leleh (f_y) (Setiawan, 2008). Untuk mengetahui sifat mekanik dari baja tulangan, uji tarik dilakukan sebagai metode utama. Uji tarik memberikan data yang akurat dan dapat mengetahui karakteristik mekanik material baja dengan baik. Namun, uji tekan tidak menghasilkan data yang akurat karena karakteristik kuat tekan baja relatif rendah yang mengakibatkan terjadinya tekuk pada tulangan baja.

Berikut merupakan kurva tegangan-regangan material baja yang dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan 3.4.



Gambar 3. 3 Grafik Korelasi Tegangan-Regangan

(Sumber: Setiawan, 2008)



Gambar 3. 4 Daerah Grafik Tegangan-Regangan

(Setiawan, 2008)

Gambar 3.5 dan 3.6 menampilkan hasil uji tarik baja yang dilakukan pada suhu udara rata-rata ruangan dan menggunakan laju regangan normal. Pada kedua grafik tersebut, hasil tegangan normal (f) ditunjukkan pada sumbu vertikal, sementara regangan (ϵ) ditunjukkan pada sumbu horizontal. Pada Gambar 3.3 benda uji baja mengalami keruntuhan karena ditarik melebihi batas maksimum. Sementara itu, pada Gambar 3.4, hasil pengujian baja menunjukkan regangan sekitar 2%.

Berikut merupakan beberapa notasi yang terdapat dalam kurva regangan-tegangan pada Gambar 3.3 dan 3.4.

- F_p = Batas proporsional
- F_e = Batas elastis
- F_{yu}, f_y = Tegangan leleh atas dan bawah
- F_u = Tegangan putus (*ultimate stress*)
- ϵ_{sb} = Regangan saat *start* dari efek *strain hardening*
- ϵ_u = Regangan saat tercapai tegangan putus

5. Baja ringan

Baja ringan merupakan jenis baja yang terdiri dari campuran logam dengan beberapa unsur metal. Baja ini diproses setelah pendinginan untuk mengubah komposisi molekul dan atomnya, sehingga menghasilkan baja yang lebih fleksibel

dan ringan (Oktarina, dkk, 2020). Bahan dasar yang digunakan dalam pembuatan baja ringan adalah *carbon steel*. *Carbon steel* adalah baja dengan unsur penyusun 1,65% *manganese*, 0,60% *copper*, 0,60% *silicon* (Mustofa, 2017). Material baja dengan mutu tinggi perlu dilindungi dengan menggunakan lapisan pelindung (*coating*) secara memadai.

Menurut Dewi, Suandi (2021) dalam penelitiannya mengatakan bahwa baja ringan mempunyai kelebihan dan kekurangan seperti berikut ini.

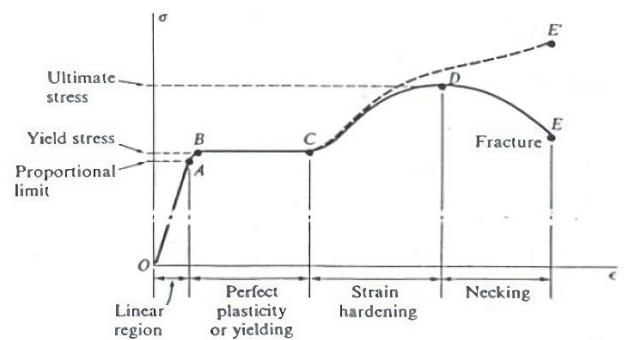
a. Kelebihan Baja Ringan

- 1) Memiliki berat yang ringan tetapi kuat tariknya tinggi.
- 2) Mempunyai daktilitas yang bagus dengan sifatnya yang liat/tangguh.
- 3) Sifatnya yang seragam karena diproduksi pabrik.
- 4) Tahan pada serangan rayap sehingga tahan lama.
- 5) Tahan terhadap karat.
- 6) Proses pemasangan relatif cepat.

b. Kekurangan Baja Ringan

- 1) Harga material relatif lebih mahal.
- 2) Sulit menyatu dengan beton.
- 3) Rentan roboh apabila salah pemasangannya.
- 4) Dimensinya sudah ditetapkan sehingga tidak bisa diubah.

Berikut merupakan kurva tegangan-regangan material baja ringan yang dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Daerah Grafik Tegangan-Regangan

(sumber: James M. Gere. Mekanika Bahan Jilid I)

3.2 Perencanaan Campuran Beton (mix design)

Perencanaan campuran beton ialah langkah dalam menentukan proporsi campuran beton berdasarkan tingkat kualitas yang telah ditentukan. Penelitian ini akan menggunakan metode SNI 03-2834-2000 sebagai acuan dalam melakukan perencanaan campuran beton. Berikut prosedur dalam perencanaan campuran beton

1. Menentukan nilai standar deviasi (Sd) yang ditentukan berdasarkan dari tingkat pengendalian kualitas pekerjaan campuran beton. Semakin banyak melakukan pengujian maka standar deviasi semakin kecil. Jika data dari lapangan tidak tersedia, maka f'_{cr} yang ditargetkan harus diambil kurang dari ($f'_{c} + 12 \text{ Mpa}$).

Tabel 3. 3 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar Bila Data Hasil uji yang Tersedia kurang dari 30

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Standar Deviasi
<15	-
15	1.16
20	1.08
25	1.03
>30	1.00

(Sumber SNI 03-2843-2000)

2. Nilai tambah (M) dapat dihitung dengan persamaan (3.11) berikut digunakan untuk kuat tekan rencana

$$M = 1,64 \times S_r \quad (3.11)$$

dengan:

M = Nilai tambah (Mpa)

1,64 = Tetapan statistic

S_r = Deviasi standar rencana (Mpa)

3. Mencari nilai kuat tekan beton rata-rata rencana dengan menggunakan persamaan (3.12) berikut ini.

$$F_{cr} = f'_c + M \quad (3.12)$$

dengan :

f_{cr} = Kuat tekan beton rata-rata rencana (MPa)

f'_c = Kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

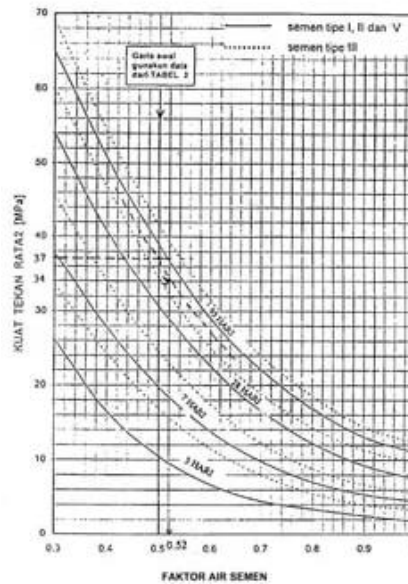
M = Nilai tambah (MPa)

4. Menentukan jenis semen yang akan dilakukan dalam penelitian.
 5. Menentukan jenis agregat yang akan digunakan baik kasar dan halus.
 6. Menentukan nilai faktor air semen (FAS) menggunakan tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Perkiraan Kekuatan tekan (Mpa) Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar yang Biasa dipakai di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan tekan (Mpa)				
		Pada umur (hari)				Bentuk
		3	7	28	29	Bentuk uji
Semen Portland tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	23	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 I	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
Semen tahan sulfat Tipe III	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



**Gambar 3.3 Grafik Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen
(benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 30 mm)**

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

7. Pemilihan nilai maksimum untuk faktor air semen dan minimum jumlah semen menggunakan tabel 3.5 berikut sesuai dengan umur rencana dan nilai kuat tekan.

Tabel 3. 5 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam lingkungan khusus

Lokasi	Semen minimum per m ³ beton (Kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton didalam ruang bangunan:		
a. keadaan keliling non korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton diluar ruangan bangunan		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

8. Memeriksa tingkat kelecakan (*workability*) adukan beton dengan menentukan nilai *slump*.
9. Menentukan ukuran maksimum dari butir agregat.
10. Melakukan penghitungan kadar air bebas agregat menggunakan persamaan 3.13 sebagai berikut.

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3}W_h + \frac{2}{3}W_k \quad (3.13)$$

dengan:

W_h = Perkiraan air untuk agregat halus

W_k = Perkiraan air untuk agregat kasar

Untuk mendapatkan nilai W_h dan W_k berdasarkan tabel 3.6 berikut.

Tabel 3. 6 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/ m^3) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

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

11. Menghitung kebutuhan semen per m^3 menggunakan persamaan 3.14 sebagai berikut.

$$\text{Jumlah semen per } m^3 \text{ beton} = \frac{\text{kadar air bebas}}{FAS} \quad (3.14)$$

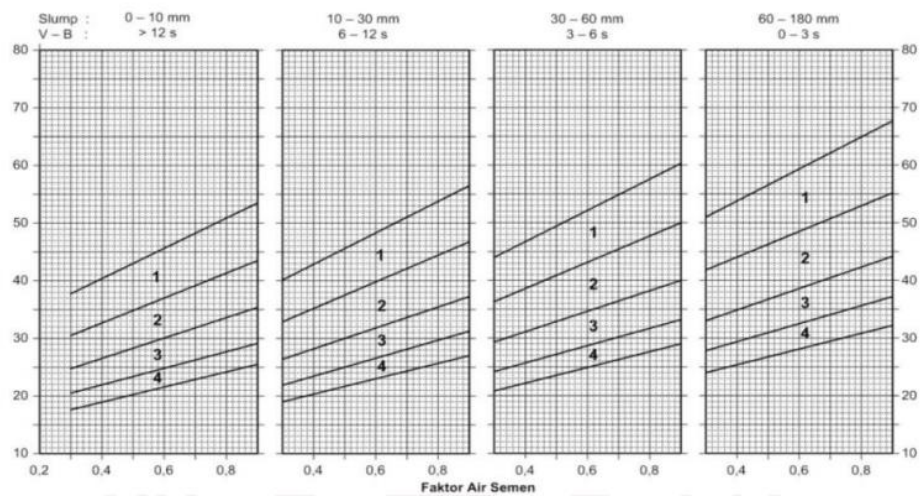
Selanjutnya, perlu ditetapkan jumlah semen minimum dan nilai FAS maksimum. Apabila terdapat perubahan sehingga jumlah semen tidak memenuhi batasan minum atau melampaui batasan minimum, maka perlu melakukan perhitungan ulang untuk nilai FAS. Tabel 3.7 berikut dapat digunakan untuk menentukan persyaratan terkait jumlah semen minimum.

Tabel 3. 7 Syarat Minimum Kuantitas Semen beserta Maksimum Nilai FAS

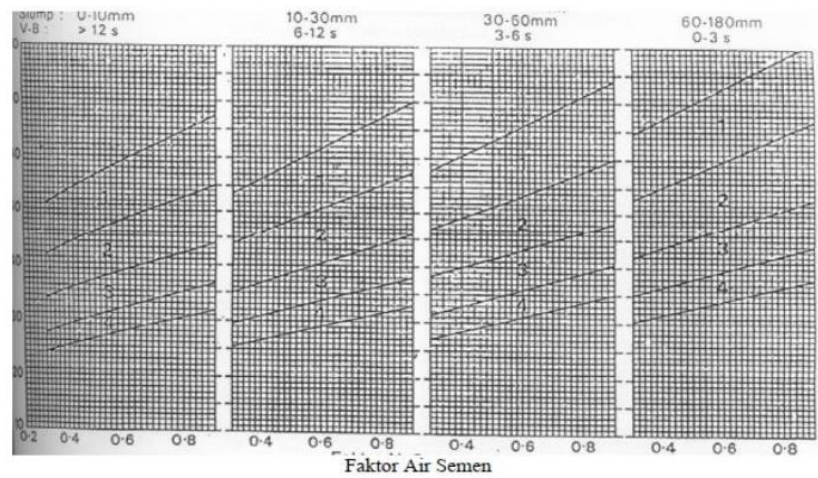
Lokasi	Jumlah Semen Minimum Per m^3 Beton (Kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. keadaan keliling non korosif	275	0,60
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan		
a. tidak terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk dalam tanah		
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti ganti	325	0,55
a. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

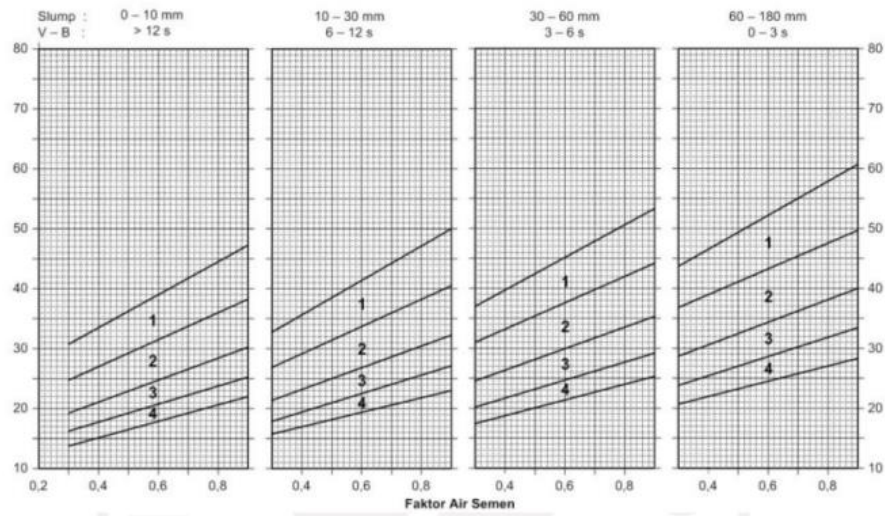
- Menentukan persentase agregat kasar dan halus pada grafik berikut dibawah ini dengan disesuaikan ukuran butir maksimal.



**Gambar 3.4 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat
(Ukuran Butir Maksimal 10 mm)**
(Sumber: SNI 03-2834-2000)



**Gambar 3.5 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat
(Ukuran Butir Maksimal 20 mm)**
(Sumber: SNI 03-2834-2000)



**Gambar 3.6 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat
(Ukuran Butir Maksimal 40 mm)**

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Untuk memperoleh persentase dari agregat halus dan agregat kasar dapat mengikuti langkah sebagai berikut.

- a. Melakukan penentuan melalui grafik yang berdasarkan dari ukuran maksimum agregat dan nilai *slump* yang direncanakan.
 - b. Menarik garis ke atas hingga ke kurva diantara dua kurva yang memasuki daerah gradasi.
 - c. Tarik garis secara horizontal ke kanan, dari kurva batas atas maupun kurva batas bawah pada daerah gradasi
 - d. Mencatat nilai lalu diambil rata-rata dari kedua nilai tersebut.
13. Menghitung berat jenis relatif dengan persamaan 3.15 berikut ini.

$$BJ_{AG} = (\%AH \times BJ_{AH}) + (\%AK \times BJ_{AK}) \quad (3.15)$$

dengan:

BJ_{AG} = Berat jenis agregat gabungan

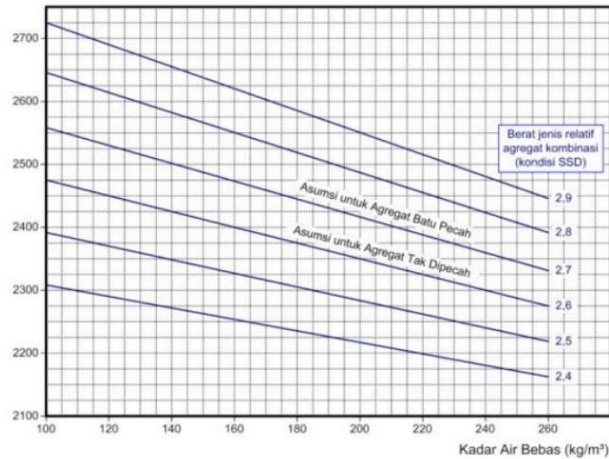
BJ_{AH} = Berat jenis agregat halus

$B_{J_{AK}}$ = Berat jenis agregat kasar

%AH = Persentase agregat halus

%AK = Persentase agregat kasar

14. Menentukan nilai dari berat isi beton dengan grafik berikut.



Gambar 3.7 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

15. Menghitung kadar agregat gabungan dengan persamaan 3.16 berikut ini.

$$AG = \text{Berat isi beton} - \text{Kadar semen} - \text{Kadar air} \quad (3.16)$$

16. Menghitung kadar agregat kasar dengan persamaan 3.17 berikut ini.

$$\text{Berat agregat kasar} = \text{agregat kasar (\%)} \times AG \quad (3.17)$$

17. Menghitung kadar agregat halus dengan persamaan 3.18 berikut ini.

$$\text{Berat agregat halus} = \text{agregat halus (\%)} \times AG \quad (3.18)$$

3.3 Pengujian Benda Uji

Pengujian yang akan dilakukan akan dilakukan, yaitu Uji *slump* dengan tujuan untuk memeriksa tingkat kelecakan dan *workability* (kemudahan). Selain itu juga dilakukan Uji tekan beton menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) guna mengetahui mutu beton. Uji lentur digunakan dalam memperoleh momen lentur pada beton.

3.3.1 Uji Tarik Baja

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan tarik mencakup jenis dan dimensi material, yang dapat membedakan momen yang terjadi berdasarkan perbedaan kuat leleh dan diameter. Berikut merupakan persamaan dalam mencari kuat tarik baja.

$$F_y = \frac{P_y}{A} \quad (3.19)$$

$$F_u = \frac{P_u}{A} \quad (3.20)$$

dengan,

P_y = Beban leleh baja (N)

P_u = Beban maksimum/*ultimate* baja (N)

A = Luas benda uji (mm²)

F_y = Kuat tarik leleh baja (MPa)

F_u = Kuat tarik *ultimate* baja (MPa)

3.3.2 Uji *Slump*

Pengujian *slump* berguna untuk menentukan tingkat kelecakan campuran beton dan tingkat kemudahan dalam melakukan proses pengerjaan beton. Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah kerucut *abrams* (SNI-1972-2008) serta tongkat penumbuk untuk memadatkan. Jika nilai hasil pengujian tinggi maka pekerjaan akan semakin mudah begitu juga sebaliknya. Tabel 3.9 memberikan panduan untuk menentukan nilai *slump* yang sesuai dengan jenis struktur dan kondisi pengerjaan campuran beton.

Tabel 3. 8 Penetapan Nilai Slump

No.	Pemakaian Beton (berdasarkan Jenis Struktur yang dibuat)	Nilai <i>slump</i>	
		Maksimum	Minimum
1	Dinding, pelat fondasi, dan fondasi telapak bertulang	125	50
2	Pondasi telapak tidak bertulang dan struktur dibawah tanah	90	125
3	Pelat, balok, kolom, dinding	150	75
4	Perkerasan jalan	75	50
5	Pembetonan massal (beton massa)	75	25

(Tjokrodimuljo & Kardiyono, 1992)

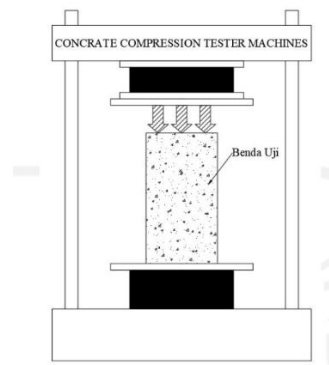
3.3.3 Uji Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan berat beban maksimum persatuan luas pada saat benda uji hancur yang dihasilkan oleh mesin tekan beton (SNI 03-1974-2011). Pada dasarnya nilai kuat tekan beton lebih tinggi dari pada nilai kuat Tarik. Menurut SNI 03-1974-2011 untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton adalah dengan besarnya beban dibanding dengan luas permukaan yang dibebani seperti persamaan 3.19 berikut ini.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.21)$$

dengan:

- $f'c$ = Kuat tekan beton (Mpa)
- P = Beban maksimal (N)
- A = Luas penampang (mm^2)



Gambar 3. 6 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton

(Sumber: Yuma, 2023)

3.3.4 Uji Lentur Balok

Sebuah benda yang diberi beban akan mengalami perubahan bentuk (deformasi) akibatnya muncul momen-momen lentur sebagai respons dari bahan yang membentuk balok tersebut terhadap beban eksternal. Selama mengalami deformasi, tegangan yang muncul tidak boleh melebihi tegangan lentur yang diizinkan untuk bahan beton tersebut (Rahamudin, dkk, 2016). Berikut merupakan rumus perhitungan kuat lentur dengan pembebanan 2 (dua) titik.

$$\sigma = \frac{P.l}{b.h^2} \quad (3.21)$$

dengan:

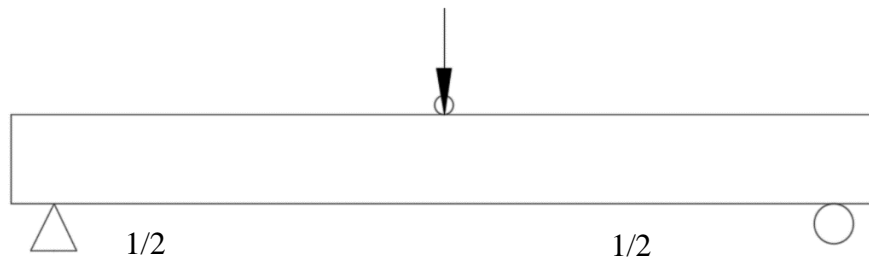
σ = Kuat lentur benda uji (MPa)

P = Beban tertinggi (Kn)

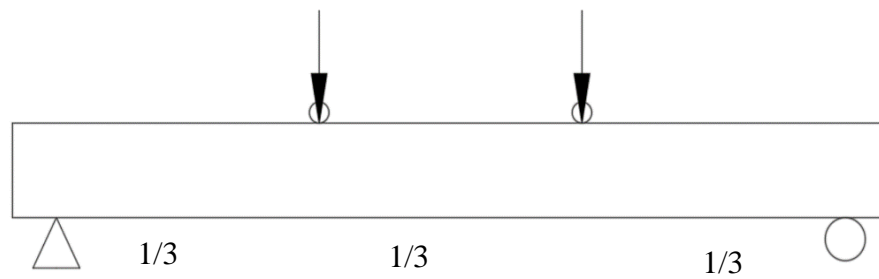
L = Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

b = Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h = Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)



Gambar 3. 7 Ilustrasi pembebanan menggunakan metode satu titik



Gambar 3. 8 Ilustrasi pembebanan menggunakan metode dua titik

3.4 Kuat Lentur

Kuat lentur pada beton mencerminkan nilai maksimum lentur dari suatu balok beton bertulang. Pengujian dibagi menjadi dua pendekatan untuk mengetahui kuat lentur, yakni melalui metode satu titik pembebanan sesuai dengan SNI 03-4145-1996 yang dapat dilihat pada gambar 3.8, dan metode pembebanan dua titik menurut SNI 4431-2011 pada gambar 3.7 dari uji kuat lentur akan menghasilkan beban maksimum, besar lendutan, keruntuhan dan kekakuan balok.

3.5 Lendutan, Keruntuhan, Pola Retak, dan Kekakuan

Kapasitas Lendutan, Keruntuhan, kekakuan dan pola retak adalah faktor yang dapat digunakan sebagai acuan untuk memahami respons balok beton bertulang, dalam hal ketahanannya. Dengan memahami beberapa aspek tersebut dapat dinilai karakteristik beton bertulang sebagai salah satu elemen struktural.

3.5.1 Lendutan

Menurut Puluhalawa (2011) perubahan bentuk atau defleksi pada balok yang terjadi pada arah sumbu y (seperti pada Gambar 3.6) disebabkan karena pembebanan vertikal pada balok atau batang. Deformasi pada balok yaitu

perubahan balok setelah dilakukan pembebanan. Defleksi dapat diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya defleksi adalah sebagai berikut.

1. Kekakuan batang

Jika suatu balok mempunyai kekuatan yang tinggi, maka lendutan atau defleksi yang terjadi pada balok akan menjadi kecil. Sebaliknya, jika kekakuan balok rendah, lendutan atau defleksi yang terjadi akan menjadi lebih besar.

2. Besar kecilnya gaya yang diterima

Defleksi yang terjadi pada balok berbanding lurus dengan gaya yang diterima. Semakin kecil beban yang diterima, maka defleksi yang terjadi semakin kecil, begitu juga sebaliknya.

3. Jenis Tumpuan yang diberikan

Setiap jenis tumpuan memiliki jumlah reaksi dan arah yang berbeda. Sehingga, lendutan pada tumpuan yang berbeda hasilnya tidak akan sama. Jika suatu tumpuan memiliki lebih banyak reaksi yang melawan gaya dari beban, maka defleksi yang terjadi pada tumpuan rol akan lebih besar daripada tumpuan sendi dan defleksi yang terjadi pada tumpuan sendi lebih besar dari tumpuan jepit.

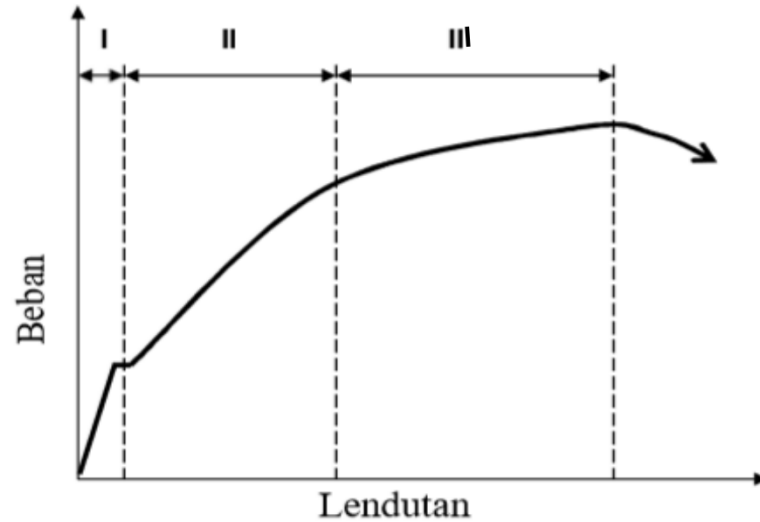
4. Jenis beban yang terjadi pada batang

Beban terdistribusi merata dan titik menyebabkan kurva defleksi yang berbeda. Pada beban terdistribusi merata, *slope* (kemiringan) yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat lebih besar daripada *slope* pada beban titik. Hal ini disebabkan karena seluruh batang mengalami beban pada beban merata, sementara pada beban titik hanya terjadi pada titik tertentu saja.



Gambar 3. 9 Perubahan Bentuk Balok Arah Y
(Sumber: Ayumni, 2017)

Keterkaitan antara beban dan lendutan balok beton bertulang dilihat grafik hubungan beban dan lendut dalam gambar 3.11.



Gambar 3. 10 grafik hubungan antara beban dan lendutan pada balok

(sumber: Nawy, 1998)

- Pada daerah I yang disebut sebagai fase pra retak, batang-batang strukturalnya tidak mengalami retakan. Bagian awal kurva beban-lendutan menunjukkan garis lurus yang mengindikasikan perilaku elastis. Tegangan lentur maksimum pada balok fase ini lebih rendah daripada kekuatan lenturnya akibat dari modulus kehancuran (f_r) beton lebih kecil.
- Pada daerah II, yang merupakan fase beban pasca retak, batang-batang struktural mengalami retakan yang masih dapat diterima, baik dalam distribusi maupun lebar retaknya. Pada tumpuan sederhana, retakan pada balok cenderung menjadi lebih luas di daerah lapangan, sementara pada tumpuan lebih sedikit yang mana retakan cenderung bersifat minor dan tidak luas. Ketika terjadi retakan akibat lentur, kontribusi kekuatan lentur penampangnya telah mengalami penurunan. Dengan demikian, kurva beban-lendutan di daerah ini akan lebih landai dibandingkan dengan fase pra retak.
- Pada daerah III, yang merupakan fase retak setelah *serviceability*, tegangan pada tulangan tarik telah mencapai tegangan lelehnya. Grafik beban-lendutan pada zona ini jauh lebih datar daripada zona sebelumnya. Hal ini disebabkan oleh hilangnya kekuatan penampang akibat adanya retakan yang cukup meluas dan

lebar di sepanjang balok. Jika beban terus bertambah, regangan ϵ_s pada tulangan sisi yang mengalami tarikan akan terus meningkat melebihi regangan lelehnya ϵ_y tanpa adanya peningkatan tegangan tambahan. Balok yang tulangan tariknya telah meleleh dianggap telah mengalami keruntuhan struktural. Balok ini akan terus mengalami defleksi tanpa peningkatat beban, dan retakan semakin meluas, menyebabkan garis netral terus mendekati tepi yang mengalami tekanan. Pada akhirnya, terjadi keruntuhan tekan yang menyebabkan kehancuran pada beton didaerah momen maksimum dan diikuti oleh *rapture* atau kehancuran.

3.5.2 Keruntuhan

Keruntuhan pada balok bervariasi bergantung pada karakteristik penampangnya, dapat dikategorikan menjadi 3 jenis keruntuhan sebagai berikut.

a. Keruntuhan tekan (*over reinforced concrete*)

Keruntuhan tekan ini terjadi kerusakan pada beton sebelum baja tulangan mencapai titik lelehnya. Situasi ini umumnya terjadi pada balok dengan rasio tulangan besar. Pada saat beban maksimum bekerja, baja tulangan belum mencapai regangan leleh, sedangkan beton telah mencapai regangan maksimum sebesar 0,003. Balok yang mengalami keruntuhan tekan memiliki karakteristik yang rapuh, di mana pada saat beton mulai hancur, baja tulangnya masih mempertahankan kekuatannya, sehingga lendutan pada balok relatif tetap. Namun jika beban yang diterapkan pada balok signifikan, baja tulangan dapat meleleh dan menyebabkan keruntuhan secara mendadak, tanpa adanya peringatan atau indikasi tentang peningkatan lendutan pada balok.

b. Keruntuhan seimbang (*balance*)

Pada penampang balok yang mengalami keruntuhan seimbang, kondisi dimana beton dan baja tulangan hancur terjadi secara bersamaan. Oleh karena itu, ketika beban maksimum diterapkan, baik baja tulangan dan beton mengalami kehancuran pada saat yang sama. Artinya, regangan tekan pada beton mencapai titik maksimum sebesar 0,003 dan regangan tarik pada baja tulangan telah mencapai titik leleh pada saat yang bersamaan, atau dengan kata lain, $\epsilon_c' = \epsilon_{cu}'$ dan $\epsilon_s = \epsilon_y$ terjadi secara simultan. Karena kerusakan terjadi bersamaan pada

beton dan baja tulangan. Sistem perencanaan ini dapat dikatakan sistem yang ideal, meskipun sulit untuk diimplementasikan di lapangan.

c. Keruntuhan tarik (*under reinforced concrete*)

Kondisi keruntuhan tarik pada penampang beton yaitu baja tulangan telah leleh sebelum beton mengalami kerusakan. Tipe keruntuhan seperti ini terjadi pada balok dengan rasio tulangan kecil, sehingga pada titik beban maksimum, baja tulangan telah mencapai regangan lelehnya, sementara beton masih utuh (belum mencapai regangan maksimum sebesar 0,003). Kerusakan terjadi karena baja tulangan menahan beban tarik lebih awal dan baja tulangan memiliki sifat yang lebih lentur, jenis keruntuhan ini terkadang disebut sebagai keruntuhan liat. Keuntungan dari keruntuhan ini terletak pada fakta bahwa ketika baja mulai leleh, beton masih mempertahankan kekuatannya, memungkinkan terjadinya lendutan pada balok. Jika beban yang diterapkan pada balok semakin besar. Lendutan pada balok juga akan meningkat dan pada akhirnya balok mengalami keruntuhan. Lendutan yang muncul oleh balok ini berfungsi sebagai peringatan sebelum terjadinya keruntuhan.

3.5.3 Pola Retak

Tegangan, terutama tegangan tarik merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan keruntuhan atau retak pada balok. Menurut Mac Cormac, 2001 bahwa pola retak dapat dibedakan menjadi 5 macam yaitu sebagai berikut.

1. Retak Lentur

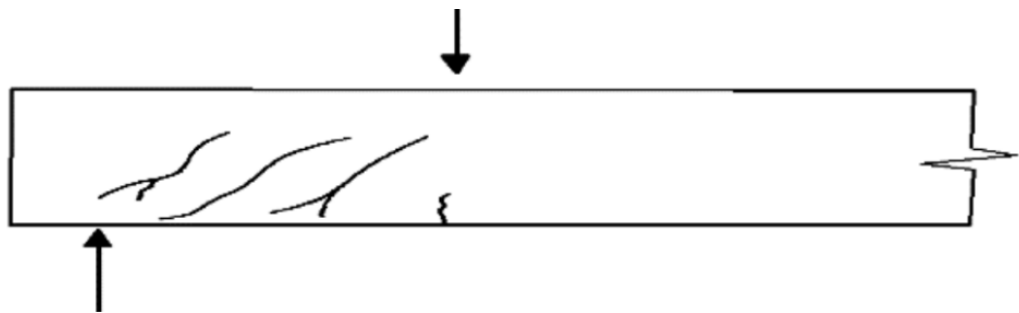
Retak lentur adalah jenis retakan yang terjadi secara vertikal dari sisi yang mengalami tegangan tarik ke arah atas hingga mencapai wilayah pusat netral. Berikut merupakan gambar dari ilustrasi retak lentur murni dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3. 11 Retak Lentur Murni
(Sumber: Kholilul dkk, 2009)

2. Retak Geser

Retak geser yang muncul di bagian tumpuan struktur, baik sebagai retak terpisah atau sebagai perpanjangan dari retak lentur. Berikut ilustrasi retak geser yang dapat dilihat pada gambar 3.8.

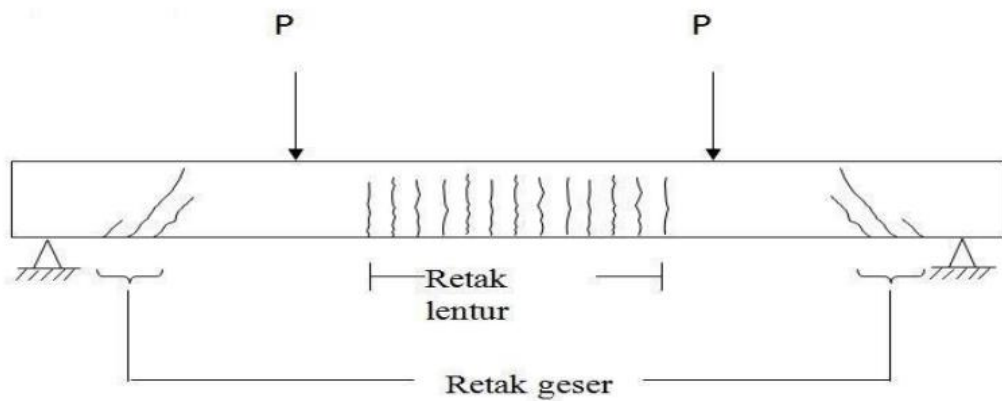


Gambar 3. 12 Ilustrasi Retak Geser

(Sumber: Kholilul dkk, 2009)

3. Retak Lentur Geser

Retak lentur geser adalah perpaduan antara lentur dan retak geser, biasanya retak ini adalah jenis retak paling umum. Berikut merupakan ilustrasi retak lentur geser yang dapat dilihat pada gambar 3.9.

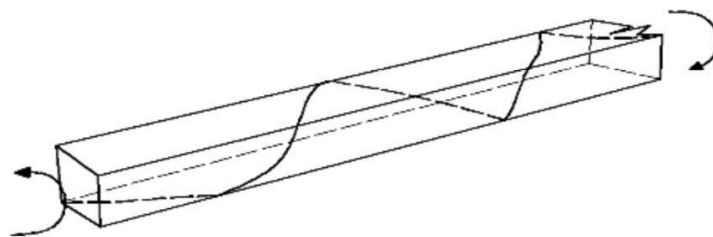


Gambar 3. 13 Ilustrasi Retak Geser Lentur

(Sumber: Kholilul dkk, 2009)

4. Retak Puntir

Retak puntir memiliki kemiripan dengan retak geser, namun retak puntir ini berbentuk lingkaran yang menyelimuti balok atau plat secara diagonal. Ketika suatu struktur beton tanpa tulangan menerima torsi murni, batang tersebut akan mengalami retakan dan kerusakan sepanjang garis 45 derajat karena terganggan puntir yang menyebabkan tarikan diagonal. Berikut merupakan ilustrasi retak puntir yang dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3. 14 Retak Puntir

(Sumber: Kholilul dkk, 2009)

5. Retak Lekatan

Retak lekatan terjadi karena tegangan lekatan (*bond stress*) antar tulangan dan beton yang menyebabkan terjadinya pemisahan sepanjang tulangan, biasanya ditunjukkan oleh salah satu atau lebih dari peristiwa berikut ini (Nuryani, 2005).

- a. *Transverse Failure* adalah kondisi dimana retakan terjadi secara melintang pada beton akibat tegangan tarik yang melebihi kapasitas daya tahan selimut beton. Keruntuhan seperti ini dapat mengakibatkan penurunan tegangan lekat antara baja tulangan dan beton.
- b. *Splitting Failure* adalah ketika terjadi retakan pada beton sepanjang arah memanjang akibat dari tegangan geser radial yang melebihi kapasitas daya tahan selimut beton. Akibat keruntuhan ini, tegangan lekat antara baja tulangan dan beton dapat mengalami penurunan.
- c. *Pull Out Failure* atau slip adalah situasi di mana baja tulangan terlepas dari beton tanpa adanya retakan yang berbentuk. Hal ini disebabkan oleh

tegangan geser yang menghancurkan lekatan antara baja tulangan dan beton.

- d. Baja *tulangan* mencapai titik leleh adalah ketika baja tulangan meleleh, yang menyebabkan hilangnya daya lekatan antara baja tulangan dan beton. Hal ini dapat mengakibatkan penurunan atau bahkan hilangnya daya lekatan antara kedua material tersebut.

Berikut merupakan ilustrasi retak lekatan yang dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3. 15 Ilustrasi Retak Lekatan

3.5.4 Kekakuan

Menurut Rizky Fajar Pratama (2016), kekakuan (*stiffness*) merujuk pada besaran yang mengukur sejauh mana tegangan diperlukan untuk mengubah bentuk suatu bahan. Besaran bahan ini berkaitan dengan modulus elastisitasnya, yang diperoleh dengan dibandingkan tegangan yang terkena pada bahan dengan perubahan suatu bahan tersebut. Sehingga dapat dituangkan dengan rumus sebagai berikut.

$$K = \frac{P}{\Delta} \quad (3.24)$$

dengan,

K = Kekakuan (N/mm)

P = Beban (N)

Δ = Lendutan (mm)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yang melibatkan pengujian sampel balok beton bertulang dengan baja ringan. Sampel yang digunakan berbentuk balok dengan dimensi 150x200x1580 mm. Pengujian meliputi uji *slump*, kuat tekan dan kuat lentur balok beton bertulang yang akan dilaksanakan di Laboratorium Mekanika dan Rekayasa Struktur dan Laboratorium Teknik Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah berbagai elemen atau faktor yang memiliki variasi tertentu dan ditetapkan peneliti dengan maksud mempelajari suatu topik tertentu dan mengambil kesimpulan berdasarkan hasil penelitian tersebut (Sugiyono, 2007). Dalam penelitian ini terdapat 2 (dua) variabel sebagai berikut,

1. Variabel bebas pada penelitian ini menggunakan baja ringan berisi mortar sebagai pengganti baja tulangan pada balok beton bertulang
2. Variabel terikat pada penelitian ini yaitu balok beton bertulang baja.

4.3 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data bertujuan untuk memudahkan penulis dalam menganalisis pengaruh penggunaan baja ringan pada tulangan balok beton bertulang. Dalam penelitian ini terdapat 2 (dua) jenis data, yaitu data primer dan sekunder.

1. Data primer

Data primer merupakan data yang didapat penulis dari pengujian secara langsung. Data ini mencakup hasil mengenai dimensi balok, nilai *slump*, pembebanan maksimum, lendutan dan luas tampang.

2. Data sekunder

Data sekunder adalah yang didapat dari sumber media, seperti buku, jurnal, atau arsip yang telah dipublikasikan dan tersedia untuk khalayak umum. Penulis menggunakan data sekunder seperti Standar Nasional Indonesia (SNI) dan jurnal penelitian yang memiliki topik yang mirip dengan penelitian ini.

4.4 Bahan dan Peralatan Penelitian

Pada penelitian ini diperlukan bahan dan alat untuk mempermudah penulis dalam proses pembuatan sampel balok beton. Bahan dan peralatan yang akan digunakan penulis dalam penelitian sebagai berikut.

4.4.1 Bahan yang Digunakan

1. Semen Portland

Semen *Portland* yang digunakan adalah tipe 1 dengan merk tiga roda. Berikut adalah gambar semen yang dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Semen
(sumber : <https://ambpi.com>)

2. Agregat

Agregat halus yang digunakan berasal dari daerah progo dan agregat kasar berasal dari clereng, Kulonprogo. Berikut adalah gambar dari agregat kasar dan halus yang dapat dilihat pada gambar 4.2 dan gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Agregat Halus



Gambar 4. 2 Agregat Kasar

3. Air

Penelitian ini menggunakan air dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Berikut adalah gambar air yang dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Air

(sumber : www.grid.id)

4. Baja tulangan

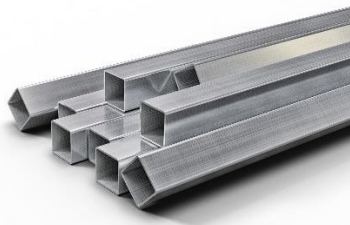
Baja tulangan yang digunakan merupakan baja ulir dengan diameter 10 mm sebagai tulangan pokok dan baja polos dengan diameter 6 mm. Seperti dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Tulangan Baja
(sumber : <https://www.smsperkasa.com>)

5. Baja ringan

Baja ringan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah baja ringan dengan tipe *hollow*, yang dapat dilihat pada gambar 4.6 sebagai berikut.



Gambar 4. 6 Baja Ringan Tipe *hollow*
(sumber : blkp.co.id)

6. Kawat Bendrat

Kawat Bendrat digunakan untuk mengikat antara baja tulangan maupun baja ringan *hollow* dengan sengkang, yang dapat dilihat pada gambar



Gambar 4. 7 Kawat Bendrat
(Sumber: <https://tokoekagyp.com>)

4.4.2 Peralatan yang digunakan

Guna mendapatkan sampel yang sesuai pada perencanaan dan hasil pengujian yang maksimal serta mempermudah peneliti, maka diperlukan beberapa peralatan penunjang yang digunakan. Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Timbangan

Pada penelitian ini timbangan yang digunakan adalah timbangan *ohaus* seperti gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Timbangan *ohaus*

(sumber : dokumentasi pribadi)

2. Saringan agregat

Saringan agregat berguna dalam pengujian analisa lolos saringan terhadap agregat halus dan kasar seperti gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Saringan Agregat

(sumber : <http://unitedgank007.blogspot.com>)

3. Cetakan silinder

Cetakan silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm seperti pada gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Cetakan Silinder

(sumber : dokumentasi pribadi)

4. Cetakan Balok

Cetakan balok dengan dimensi tinggi 200, lebar 150 dan panjang 1580, seperti pada gambar 4.11



Gambar 4. 11 Cetakan Balok

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

5. Tang Catut

Tang Catut digunakan untuk mengikat kawat bendrat pada baja tulangan longitudinal dan sengkang. Tang catut dapat dilihat pada gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Tang Catut

6. Alat Ukur

Alat ukur berguna untuk mengukur dimensi atau panjang benda uji. Misalnya alat ukur yang digunakan yaitu mistar untuk mengetahui nilai *slump* seperti pada gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Alat Ukur

(sumber : Dokumentasi Pribadi)

7. Oven

Mengeringkan dan pengujian berat jenis agregat pada penelitian ini dibutuhkan oven. Selain itu juga dapat digunakan dalam pengujian kadar air agregat seperti pada gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Oven

(sumber : Dokumentasi pribadi)

8. Ember

Ember yang digunakan adalah ember cor yang berfungsi untuk mengangkat semen, air. Agregat atau lainnya serta dapat dimanfaatkan untuk menampung material seperti pada gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Ember

(sumber : dokumentasi pribadi)

9. Kerucut *Abrams*

Kerucut *Abrams* digunakan dalam pengujian *slump* untuk mengetahui nilai *slump* pada campuran seperti pada gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Kerucut Abrams

(Sumber : Dokumentasi pribadi)

10. Tongkat Penumbuk

Pada saat beton segar dimasukkan ke dalam Kerucut Abrams tongkat penumbuk berfungsi untuk memadatkan campuran beton sehingga tidak ada rongga udara seperti pada gambar 4.17.



GambarR 4. 17 Tongkat Penumbuk

(Sumber : Dokumentasi pribadi)

11. *Mixer* beton

Mixer beton adalah alat untuk mengaduk atau mencampuran bahan-bahan dalam *mix design*, dapat dilihat pada gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Mixer Beton

(Sumber : Dokumentasi pribadi)

12. Sekop

Sekop berfungsi sebagai alat yang digunakan untuk memasukkan bahan penyusun beton ke dalam cetakan sehingga memudahkan pekerjaan seperti pada gambar 4.19.



Gambar 4. 19 sekop

(Sumber : Dokumentasi pribadi)

13. Palu karet

Palu karet berfungsi untuk membantu pemadatan beton saat pencetakan, yaitu dengan cara memukul bagian luar cetakan secara merata. Palu karet yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4. 20 Palu Karet

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

14. *Compresing Testing Machine* (CTM)

Penelitian ini melakukan pengujian kuat tekan beton, menggunakan *compresing testing machine*. CTM dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4. 21 Alat pengujian beton

(Sumber : Dokumentasi pribadi)

15. *Linear Variable Differential Transformers (LVDT)*

LVDT dipasang pada balok beton saat pengujian yang berguna untuk mengetahui lendutan yang terjadi pada balok beton. LVDT dapat dilihat pada gambar 4.22.



Gambar 4. 22 Linear Variable Differential Transformers (LVDT)

(Sumber: <https://passive-components.eu>)

16. *Frame Load*

Pengujian lentur menggunakan mesin yang disebut *Bending Test Machine* (BTM), yang dapat dilihat pada gambar 4.23.



Gambar 4. 23 Frame Load

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

17. *Beban 2 Titik*

Beban 2 titik dipasang pada *Bending Test Machine* digunakan untuk melakukan pembebanan pada sampel balok.



Gambar 4. 24 Beban 2 (dua) Titik

(Sumber: Dokumentasi pribadi)

4.5 Tahap Penelitian

Untuk mencapai hasil penelitian yang akurat, diperlukan prosedur yang terstruktur dan sistematis dalam melaksanakan setiap tahapannya. Melalui tahapan tersebut, tujuan dari penelitian ini dapat tercapai secara efektif dan tepat.

4.5.1 Persiapan bahan

Sebelum melakukan penelitian, persiapan bahan penting dilakukan untuk memastikan bahwa mutu sesuai dengan rencana. Pembersihan material dari kotoran atau benda asing diperlukan agar mutu yang dihasilkan tidak terpengaruh. Berikut adalah langkah-langkah persiapan yang dilakukan.

1. Persiapan material khusus

Persiapan material yang harus dipersiapkan yaitu bahan penyusun beton bertulang. Material beton segar meliputi agregat halus, agregat kasar, air, dan semen, serta tulangan baja dan baja ringan berisi mortar.

2. Pembersihan material

Dalam penelitian ini, dilakukan pembersihan pada agregat halus dan kasar untuk memastikan bahwa bahan material memenuhi persyaratan yang diperlukan dalam campuran beton. Agregat kasar bersih dari sampah atau benda asing, sementara agregat halus harus bersih dari lumpur. Jika material tidak dibersihkan dengan baik, maka akan menurunkan kualitas beton.

3. Pengujian material

Pengujian material dilakukan untuk mengklasifikasikan dan mengetahui karakteristik yang disesuaikan dengan parameter yang telah ditetapkan. Berikut merupakan rincian pengujian yang akan dilakukan.

a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus

langkah-langkah pengujian meliputi:

- 1) Kondisi agregat halus dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD),
- 2) Benda uji dikeringkan memakai oven pada suhu $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$ hingga berat uji tetap dimana setelah dilakukan proses penimbangan dalam oven selama 3 kali proses dengan selang waktu 2 jam tidak terjadi perubahan kadar air lebih dari 0,1% dan lakukan perendaman selama 23 ± 4 jam dalam air,

- 3) air rendaman dibuang dengan perlahan supaya tidak ada butiran yang terbang, kemudian agregat diletakkan pada pan dan dikeringkan di udara hingga kering permukaan.
- 4) Setelah tercapai kondisi SSD, agregat halus dimasukkan ke dalam piknometer sebesar 500 gram dan air hingga 90% dari isi piknometer,
- 5) Piknometer diputar miring ke kiri dan kanan hingga tidak ada gelembung udara pada agregat,
- 6) air ditambahkan hingga batas kapasitas piknometer, lalu piknometer, agregat halus, dan air di timbang serta dicatat hasilnya,
- 7) agregat halus dikeluarkan dari piknometer dan diletakkan di pan, lalu dikeringkan dalam oven dengan suhu $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$ selama 24 jam,
- 8) piknometer dalam keadaan kosong ditimbang dan dicatat hasilnya,
- 9) agregat dalam oven yang telah 24 jam dikeluarkan dan ditimbang beratnya,
- 10) berat jenis semu, berat jenis jenuh kering permukaan, berat jenis curah, dan penyerapan air dihitung dengan menggunakan hasil penimbangan yang telah dilakukan dan dianalisis dengan persamaan:

a) Berat jenis curah, gram/cm^3

$$= \frac{Bk}{B+500-Bt} \quad (4.1)$$

b) Berat jenis jenuh kering permukaan

$$= \frac{500}{B+500-Bt} \quad (4.2)$$

c) Berat jenis semu

$$= \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \quad (4.3)$$

d) Penyerapan air

$$= \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \quad (4.4)$$

b. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Untuk langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut:

- 1) Permukaan benda uji dicuci untuk membersihkan kotoran terlebih dahulu,
- 2) Benda uji dikeringkan pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ dalam oven, lalu setelah 3 jam dikeluarkan dan didinginkan,
- 3) Agregat sebanyak 5000 gram yang telah mencapai kondisi SSD, kemudian ditempatkan dalam keranjang dan dicelupkan kedalam air serta beratnya,
- 4) Mengeluarkan agregat dari keranjang kemudian letakkan dalam pan lalu keringkan selama ± 24 jam di dalam oven,
- 5) Setelah 1 hari agregat dikeluarkan dan ditimbang lalu dicatat hasilnya,
- 6) Berat jenis kering permukaan, berat jenis semua, berat jenis curah, dan penyerapan air dihitung dengan menggunakan hasil penimbangan yang sebelumnya telah dilakukan pengujian dengan persamaan:

- a) Berat jenis curah, gram/cm^3

$$= \frac{Bk}{Bj-Ba} \quad (4.5)$$

- b) Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)

$$= \frac{Bj}{Bj-Ba} \quad (4.6)$$

- c) Berat jenis semu

$$= \frac{Bk}{Bk-Ba} \quad (4.7)$$

- d) Penyerapan air

$$= \frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100\% \quad (4.8)$$

c. Pengujian analisa saringan agregat halus

Saringan benda uji yang melalui saringan 4,75 mm (No.4). Untuk langkah-langkah dalam pengujiannya sebagai berikut.

- 1) Benda uji dikeringkan ke dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ hingga berat benda uji tetap.
- 2) Benda uji dikeluarkan dan didinginkan.
- 3) Saringan disusun dari mulai ukuran terbesar hingga terkecil dari bagian atas ke bawah, dengan ukuran saringan meliputi 9,5 mm; 4,75 mm (nomor 4); 2,36 mm (nomor 8); 1,18 mm (nomor 16); 0,600 mm (nomor 30); 0,300 mm (nomor 50); 0,150 (nomor 100); dan pan,
- 4) Benda uji dimasukkan saringan lalu proses penyaringan menggunakan bantuan mesin ayak untuk mengguncang selama 10-15 menit,
- 5) Benda uji dikeluarkan di timbang beratnya serta dicatat.

d. Pengujian analisa saringan agregat kasar

Pengujian ini merupakan pengujian yang dimana benda uji tidak lolos pada saringan 4,75 mm (no. 4). Untuk pengujian ini sebagai berikut.

- 1) Benda uji dikeringkan menggunakan oven pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$
- 2) Mengeluarkan benda uji dari oven dan didinginkan,
- 3) Saringan disusun dari ukuran paling besar dari atas ke bawah yang ukuran saringannya meliputi 9,5 mm; 4,75mm (No. 4); 2,36 mm (No. 8); 1,18 mm (No. 16); 0,600 mm (No.30); 0,300 mm (No. 50); 0,150 mm (No. 100), dan pan,
- 4) Benda uji dimasukkan ke dalam saringan dari ukuran terbesar dan kemudian proses penyaringan dibantu dengan mesin ayak untuk mengguncang selama 10-15 menit,
- 5) Benda uji dikeluarkan dari saringan dan ditimbang tiap ayakan lalu dicatat,

- 6) Hasil pencatatan benda uji dari masing masing saringan kemudian menghitung Modulus Halus Butir (MHB) untuk agregat yang digunakan dengan persamaan.

$$MHB = \frac{\Sigma \text{ Berat tertinggal kumulatif}}{100} \quad (4.9)$$

e. Pengujian berat volume gembur agregat halus

Prosedur yang perlu dilakukan pada pengujian berat volume gembur/padat agregat halus adalah sebagai berikut.

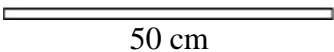
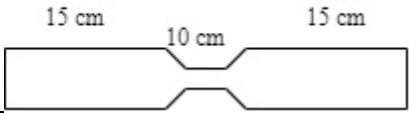
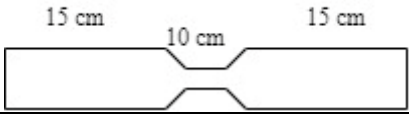
- 1) Benda uji dikeringkan pada oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$,
 - 2) Benda uji dikeluarkan dari oven dan didinginkan,
 - 3) Mengukur dimensi dan berat silinder kemudian dicatat,
 - 4) Agregat halus dimasukkan ke dalam silinder per 1//3 bagian dari silinder ditumbuk sebanyak 25 kali secara merata, hingga agregat halus memenuhi silinder,
 - 5) Pengujian berat volume gembur, agregat halus dimasukkan kedalam silinder tanpa pemadatan atau penumbukan kemudian diratakan,
 - 6) Silinder yang sudah terisi agregat halus dilakukan penimbangan dan dicatat beratnya,
 - 7) Menghitung berat volume menggunakan dari hasil penimbangan.
- f. Pengujian berat volume padat/ gembur agregat kasar
- Langkah dalam melakukan pengujian berat volume gembur/padat agregat kasar sebagai berikut.
- 1) Mengeringkan benda uji menggunakan oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$,
 - 2) Benda uji dikeluarkan dari oven dan didinginkan,
 - 3) Silinder diukur dimensi dan beratnya lalu dicatat,
 - 4) Agregat kasar dimasukkan pada silinder per 1/3 bagian dari tinggi silinder dan ditumbuk sebanyak 25 kali secara merata hingga silinder penuh,

- 5) Pada pengujian berat volume gembur, agregat kasar dimasukkan kedalam silinder ukur hingga penuh tanpa pemadatan hingga silinder penuh,
- 6) Silinder yang telah berisi benda uji ditimbang berat silinder dan dicatat beratnya,
- 7) Berat volume dihitung menggunakan hasil dari penimbangan.

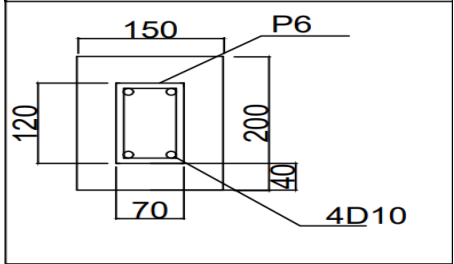
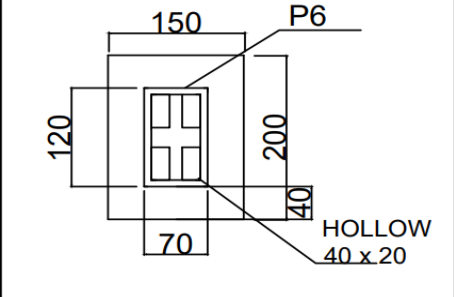
4.5.2 Benda Uji

Penyusun beton bertulang, yaitu baja tulangan dan baja ringan akan diuji tarik untuk mengetahui mutunya, dengan dimensi panjang bentang masing masing 50 cm Sampel yang digunakan terbagi menjadi 2 jenis yaitu silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm yang digunakan dalam mengetahui nilai kuat tekan beton yang dihasilkan. Benda uji selanjutnya adalah balok dengan dimensi lebar 150 mm ,tinggi 200 mm dengan panjang bentang 1580 mm yang digunakan untuk pengujian kuat lentur beton. Pembuatan benda uji beton di Laboratorium berdasarkan SNI-2493-2011. Rincian sampel beton dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Rincian Sampel Pengujian Beton

Jenis Pengujian	Tulangan	Kode	Bentuk (ukuran cm)	Jumlah Sampel
Kuat Tarik	Baja	BJ	 50 cm	1
	<i>Hollow 4x2</i>	BJR-1	 15 cm 10 cm 15 cm	1
	<i>Hollow 3x2</i>	BJR-2	 15 cm 10 cm 15 cm	1
Kuat tekan	-	BN	Slinder (150 x 300)	3
Kuat Lentur	Baja	BJ-1	Balok (150 x 200 x 1580)	3
	Hollow	Bj-2	Balok (150 x 200 x 1580)	3

Tabel 4. 2 Rencana Penulangan

Jenis Pengujian	Kode	Rencana penulangan
Kuat Lentur	BJ-01	
Kuat Lentur	BJ-02	

Tahapan dalam pembuatan benda uji beton adalah sebagai berikut.

1. Benda uji silinder.

- a. Bahan penyusun seperti agregat kasar dan halus, air dan semen disiapkan sesuai dengan kebutuhan yang telah dihitung sesuai SNI 03-2834-2000 dan peralatan untuk menakar seperti timbangan dan gelas ukur
- b. Melakukan penimbangan bahan penyusun sesuai mix design yang telah dibuat.
- c. Memasukkan bahan penyusun yang telah di timbang sesuai dengan kebutuhan *mix design* kedalam ember guna memudahkan pencampuran.
- d. Cetakan silinder disiapkan dan diolesi dengan oli seluruh permukaannya
- e. Menyiapkan *mixer* beton dan tempat menuangkan beton segar.
- f. Memasukkan agregat kasar dan halus dalam keadaan SSD pada mixer beton lalu dinyalakan diaduk hingga merata.
- g. Semen dimasukkan ke mixer beton dan diaduk hingga merata.
- h. Menuangkan air perlahan dengan tujuan untuk mengontrol keenceran campuran beton segar.
- i. Melakukan uji slump.

- j. Jika uji slump beton telah memenuhi syarat, campuran beton segar ke dalam cetakan silinder dengan memasukkan $\frac{1}{3}$ bagian dari silinder dan ditumbuk secara merata sebanyak 25 kali dan dipukul menggunakan palu karet hingga beton merata tanpa adanya rongga udara, proses tersebut diulangi hingga beton segar memenuhi silinder.
 - k. Permukaan benda uji diratakan menggunakan sekop kecil.
 - l. Setelah 24 jam beton dibuka dari cetakan dan dilakukan proses curing.
2. Benda uji balok
- a. Bekisting balok disiapkan dengan ukuran lebar 150 mm tinggi 200 mm dan panjang 1580 mm yang telah diolesi oli seluruh permukaannya.
 - b. Bahan penyusun beton seperti agregat kasar dan halus, air dan semen disiapkan sesuai kebutuhan yang telah dihitung kebutuhan bahan *mix design* berdasarkan SNI 03-2834-2000.
 - c. Tahu beton untuk selimut beton dibuat dengan ukuran tebal 40 mm menggunakan mortar.
 - d. Tulangan baja dan Hollow di rakit sesuai dengan rencana penulangan.
 - e. Pemasangan tulangan yang telah dirakit ke dalam bekisting dan menggunakan tahu beton sebagai cetakan selimut beton.
 - f. Melakukan penimbangan bahan penyusun sesuai dengan berat yang telah direncanakan dan ditakar ke dalam ember untuk memudahkan pencampuran.
 - g. Menyiapkan mixer beton dalam keadaan hidup dan tempat untuk menuangkan beton segar
 - h. Masukkan agregat kasar dan halus yang telah dalam keadaan bersih dan SSD ke dalam mixer beton dan diaduk hingga merata.
 - i. Semen dimasukkan ke dalam mixer beton dan diaduk hingga merata
 - j. Air dituangkan secara perlahan dengan maksud untuk mengontrol keenceran campuran beton segar.
 - k. Melakukan uji slump.
 - l. Jika pada uji slump telah memenuhi syarat, campuran beton segar dimasukkan kedalam bekisting balok dengan cara memasukkan $\frac{1}{3}$ dari

bagian balok ditumbuk dengan tongkat penumbuk secara merata sebanyak 25 kali dan dipukul dengan palu karet hingga beton merata tanpa terdapat rongga udara, proses tersebut diulangi hingga bekisting balok penuh.

4.5.3 Perawatan Benda Uji

Perawatan sampel berdasarkan SNI-2493-2011 Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. Benda uji silinder, setelah 24 jam dicetak, bekisting dilepas lalu diberi kode yang kemudian dilakukan perawatan dengan cara dimasukkan kolam perendaman selama 28 hari. Untuk benda uji balok bertulang bekisting dilepas setelah 3 hari balok beton dicetak, kemudian perawatan dilakukan dengan cara menutup balok beton dengan karung goni basah selama 28 hari.

4.5.4 Pengujian Benda Uji

Benda uji balok diukur dimensinya dan ditimbang sebelum dilakukan pengujian. Setelah itu benda uji akan diuji lentur menggunakan 2 titik pembebanan setelah 28 hari. Untuk mengetahui nilai kuat tekan maka benda uji silinder dilakukan pengujian nilai kuat tekan beton.

4.6 Prosedur Pengujian

Penelitian ini melakukan beberapa pengujian guna mendapat hasil sesuai yang akurat. Langkah-langkah pengujian akan dijelaskan secara sistematis dan prosedural dari setiap pengujian tersebut.

4.6.1 Tarik Baja

Prosedur pengujian tarik baja digunakan untuk mengukur sifat tarik baja. Berikut merupakan langkah dalam pengujian tarik baja.

1. Benda uji disiapkan berupa batangan untuk baja tulangan dengan panjang 50 cm, dan pelat pada baja ringan dengan panjang 50 cm.
2. Pemeriksaan visual benda uji tidak ada cacat yang dapat mempengaruhi hasil pengujian.
3. Mengukur dimensi benda uji seperti diameter, panjang, dan lebar sesuai persyaratan.

4. Pasang benda uji pada mesin uji tarik
5. Terapkan beban tarik secara perlahan dan konstan
6. Rekam data termasuk beban dan perpanjangan spesimen hingga baja putus
7. Catat data yang diperoleh selama pengujian, termasuk beban saat leleh dan beban maksimum
8. Analisis data pengujian untuk mengetahui nilai kuat tarik baja

4.6.2 Slump Test

Slump test dilaksanakan setelah beton segar yang dicampur dituangkan dari mesin *mixer* beton. Berikut merupakan langkah dalam pelaksanaan *Slump test*.

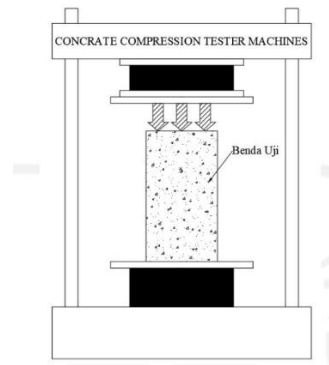
1. Beton segar di masukkan dalam kerucut *abrams* setiap 1/3 bagian. Setiap bagian ditumbuk dengan tongkat penumbuk secara merata sebanyak 25 kali dan diulangi hingga penuh
2. Diamkan campuran beton segar selama 30 detik, lalu kerucut *abrams* diangkat secara vertikal untuk mencegah beton runtuh. Setelah itu kerucut *abrams* dibalik dan di tarik disebelah beton segar dan diukur menggunakan bantuan penggaris dan tongkat penumbuk.

4.6.3 Kuat tekan Beton

Kuat tekan beton dengan benda uji silinder berikut merupakan prosedur dalam pengujiannya.

1. Peralatan dan benda uji yang akan dilakukan disiapkan.
2. Jika permukaan atas pada silinder tidak rata, maka diperlukan belerang yang dipanaskan hingga mencair lalu dituangkan pada cetakan. Lalu permukaan beton yang tidak rata diletakkan pada cetakan yang telah diberi belerang dan ditunggu hingga mengeras.
3. Mesin uji tekan beton diletakkan benda uji secara sentris kemudian mesin dinyalakan dengan beban ditambahkan secara konstan 3 kN/detik.
4. Pembebanan dilakukan hingga benda uji tidak mampu menahan beban dan angka beban dicatat

Berikut merupakan sketsa pengujian kuat tekan beton yang dapat dilihat pada gambar 4.25.



Gambar 4. 25 Sketsa Pengujian Kuat Tekan

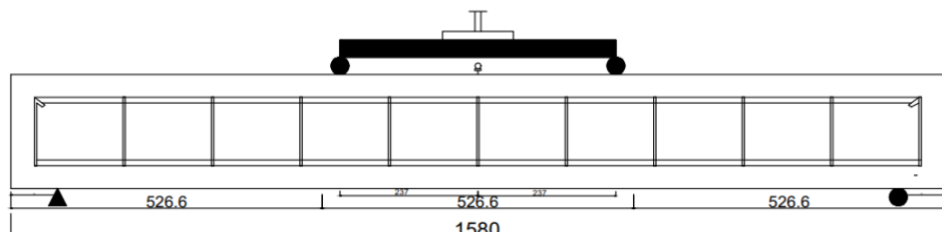
(sumber : Yuma, 2023)

4.6.4 Kuat lentur beton

Langkah-langkah dalam pengujian kuat lentur beton yang menggunakan benda uji balok beton bertulang adalah sebagai berikut.

1. Benda uji balok dan peralatan disiapkan
2. Lakukan pengukuran dimensi dan berat balok beton bertulang.
3. Tentukan letak tumpuan benda uji yaitu $1/3$ dari kiri dan kanan balok
4. Benda uji ditaruh pada tumpuan alat pengujian
5. Mesin uji lentur beton dijalankan dengan beban ditambahkan secara konstan
6. Pembebanan dilakukan hingga benda uji hancur dan catat angka maksimum yang dapat ditahan benda uji selama pengujian.

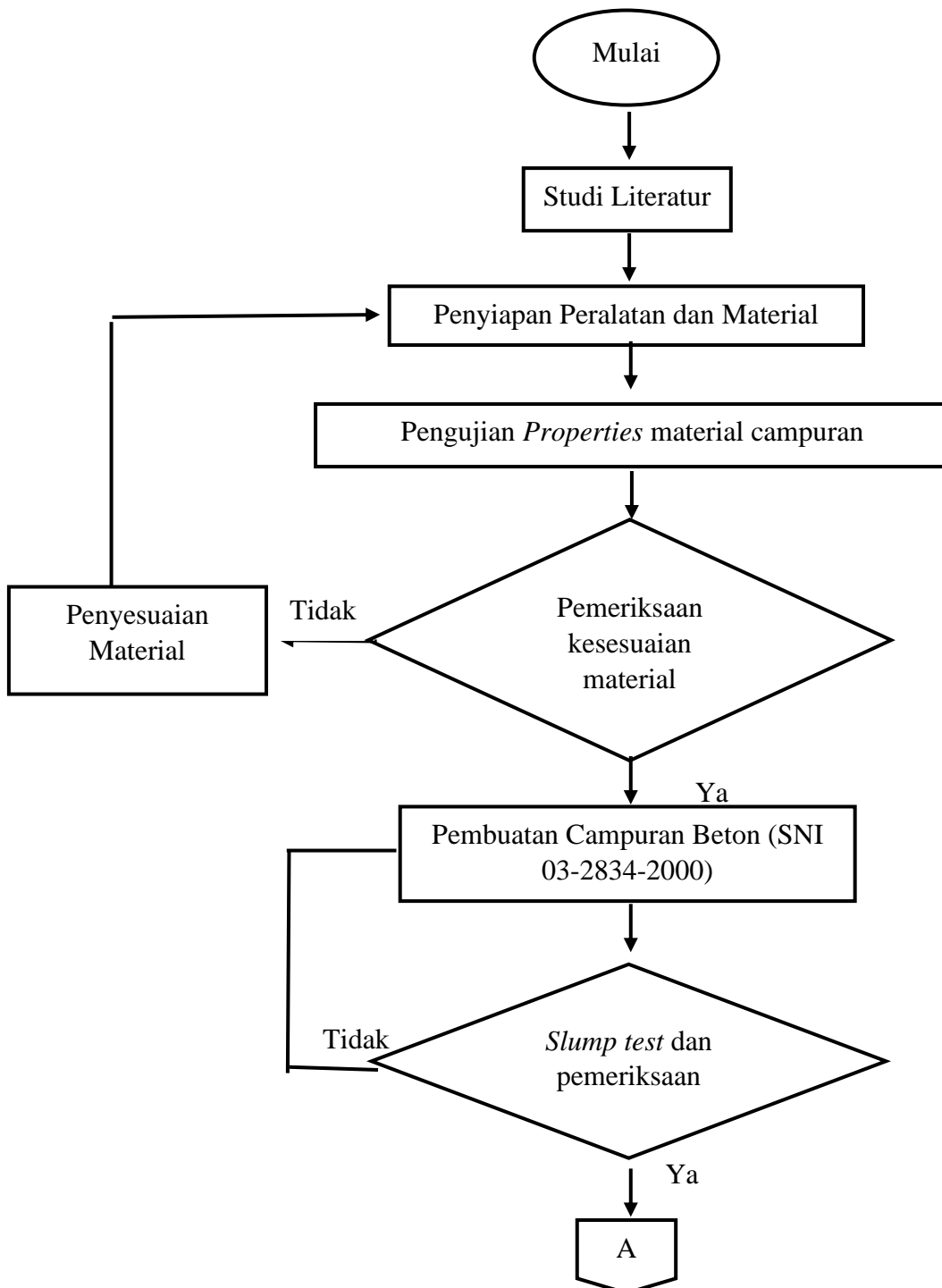
Berikut merupakan sketsa pengujian kuat lentur dapat dilihat pada gambar 4.26.



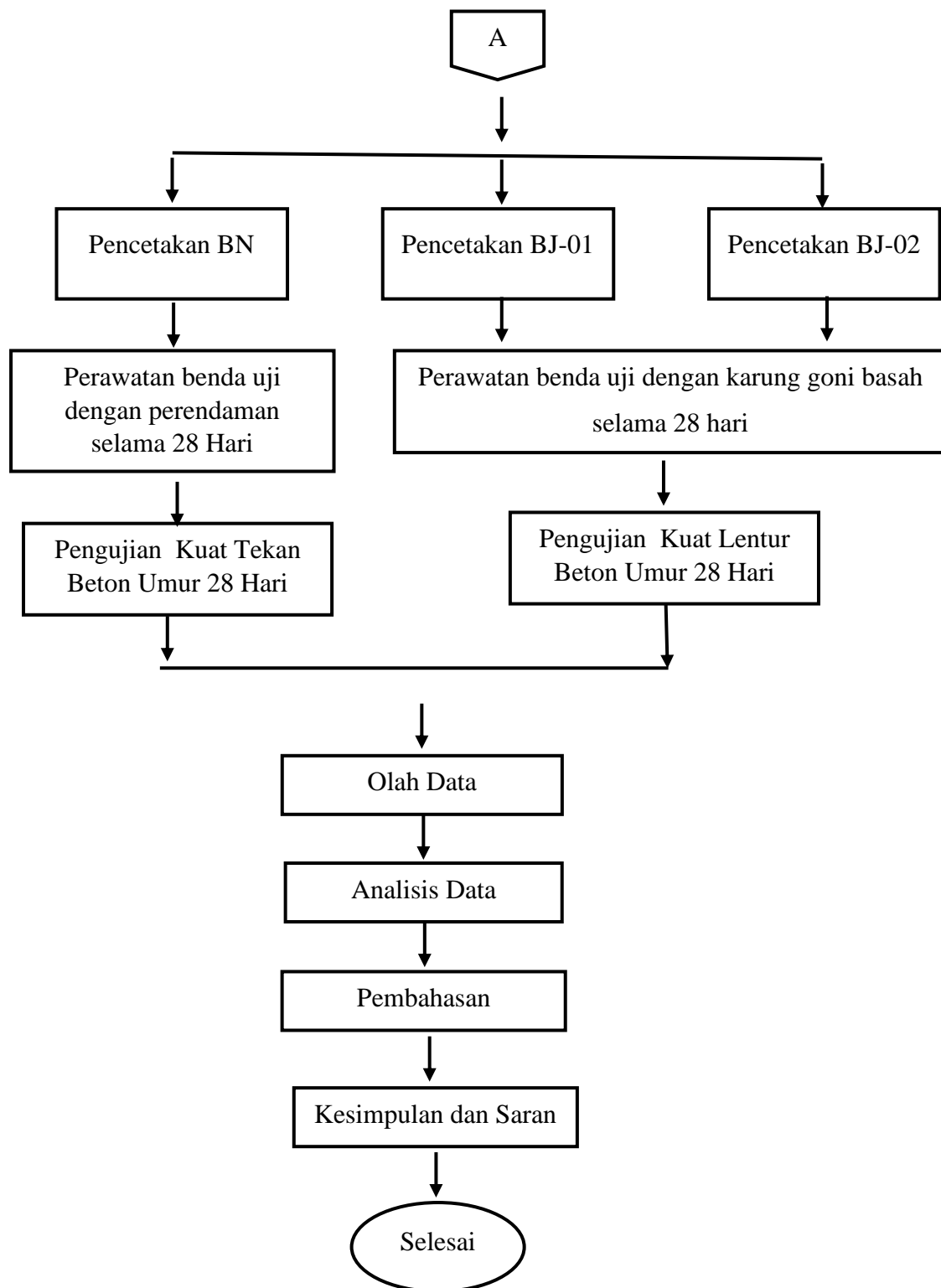
Gambar 4. 26 Sketsa Pengujian Kuat Lentur

4.7 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.27 berikut ini.



Gambar 4. 27 Diagram alir penelitian



Lanjutan Gambar 4.21 Diagram alir penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Material

Uji *properties* dari material atau bahan baku yang digunakan dalam campuran beton dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari setiap komponen bahan, baik saat merancang *mix design* maupun dalam pelaksanaan di lapangan. Hasil pengujian ini merujuk pada SNI 03-2835-2000 mengenai campuran beton.

5.1.1 Uji material Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari sungai progo yang akan melalui uji kandungan lumpur (uji lolos saringan 200), uji berat volume padat/gembur, uji berat jenis dan penyerapan air, serta uji modulus halus butir.

1. Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5. 1 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan air Agregat Halus

Uraian	Hasil (gr)
Berat pasir kering mutlak atau kering oven (Bk)	477
Berat pasir kondisi jenuh kering permukaan (SSD)	500
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt)	969
Berat piknometer berisi air (B)	659
Berat jenis curah $Bk / (B + 500 - Bt)$	2,511
Berat jenis jenuh kering permukaan $500 / (B + 500 - Bt)$	2,632
Berat jenis semu $Bk / (B + Bk - Bt)$	2,856
Penyerapan air, % $(500 - Bk) / Bk \times 100\%$	4,821%

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, hasil dari berat jenis curah, berat jenis kering permukaan, berat jenis semu, dan penyerapan air yang dapat dilihat pada Tabel 5.1 telah memenuhi syarat sebagai agregat halus.

2. Uji Modulus Halus Butir Agregat Halus

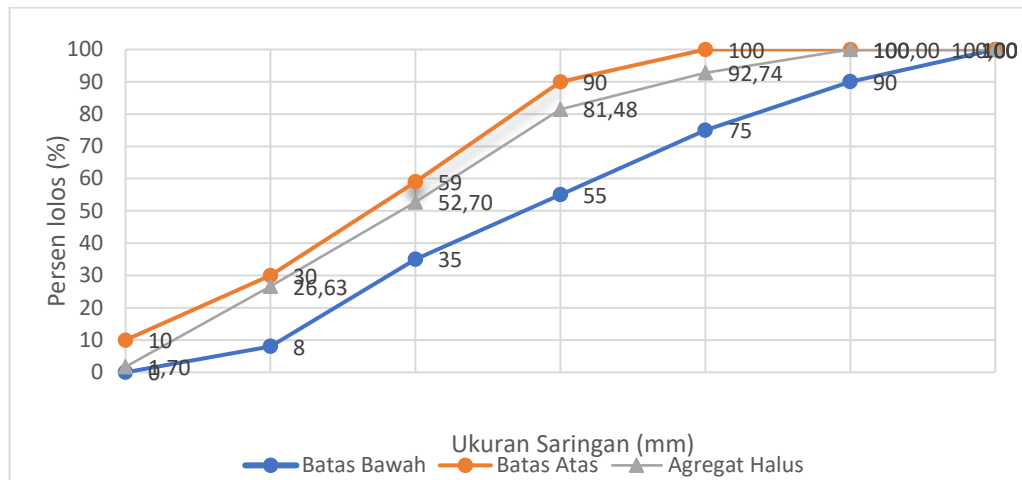
Hasil dan analisis pengujian modulus butir agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.2 dibawah ini.

Tabel 5. 2 Uji Modulus Halus Butir Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
10	0	0	0	100
4.8	0	0	0	100
2.4	145	7,27	7,27	92,73
1.2	225	11,28	18,55	81,45
0.6	575	28,82	47,37	52,63
0.3	233	11,68	59,05	40,95
0.15	697	34,94	93,98	6,02
Sisa	120	6,015	-	0
Jumlah	1995	100	226,216	

Berdasarkan hasil dari tabel 5.2 diatas nilai modulus halus butir sebesar,
 Modulus Halus Butir (MHB) = $\frac{226.216}{100} = 2,262$

Pengujian modulus halus butir dilakukan untuk mengukur gradasi dari agregat halus. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa agregat ini memenuhi kriteria daerah II, yang berarti karakteristik agregat ini termasuk dalam kategori pasir yang cukup kasar. Kurva gradasi agregat halus dapat dilihat pada gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus

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

Berikut ini merupakan hasil pengujian dan analisis kandungan lumpur agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5.3 Uji Kandungan Lumpur

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat Agregat Kering Oven (w1) , gram	500
Berat Agregat Kering Oven Setelah dicuci (w2) , gram	489
Kandungan lumpur , % (w1-w2)/w1 x 100 %	2,2%

Berdasarkan hasil yang didapat kandungan lumpur pasir progo bernilai 2,2% dimana memenuhi syarat dengan batas maksimal 5% sesuai dengan ketentuan PUBI-1982 tentang syarat batas maksimal kandungan lumpur. Semakin rendah kandungan lumpur maka ikatan antar agregat semakin kuat yang dapat mempengaruhi kualitas campuran.

4. Uji Berat Volume

a. Uji Berat Isi Gembur Agregat Halus

Hasil dari analisis dan pengujian berat isi gembur agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5. 4 Uji Berat Isi Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat tabung (w1), gram	10742
Berat tabung + agregat kering oven (w2), gram	18871
Berat agregat (w3), gram	8129
Volume tabung (v), cm ³	5313,713
Berat volume gembur, gram/cm ³ (w3/v)	1,52

Hasil dari tabel 5.4 menunjukkan berat volume gembur pada agregat halus sebesar 1,52 gram/cm³, nilai tersebut memenuhi syarat SNI 03-4804-1998 dimana disyaratkan antara 1,2 – 1,7.

b. Uji Berat Isi Padat Agregat Halus

Hasil pengujian dan analisis dapat dilihat pada tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5. 5 Uji Berat Isi Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat tabung (w1), gram	10742
Berat tabung + agregat kering oven (w2), gram	19164
Berat agregat (w3), gram	8422
Volume tabung (v), cm ³	5313,713
Berat volume gembur, gram/cm ³ (w3/v)	1,58

Berdasarkan hasil dari tabel 5.5 didapatkan nilai berat volume gembur 1,58 dimana nilai ini telah memenuhi persyaratan SNI 03-4804-1998 yang berkisar antara 1,2-1,7.

5.1.2 Uji Material Agregat Kasar

Agregat kasar pada penelitian ini sebelumnya dilakukan uji modulus halus butir, uji berat volume isi padat, uji berat volume gembur serta uji berat jenis dan penyerapan air.

1. Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Hasil analisis dan pengamatan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar kasar dapat dilihat pada tabel 5.6 berikut.

Tabel 5. 6 Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Uraian	Hasil pengamatan (Gram)
Berat kerikil kering oven (Bk)	4941
Berat kerikil kondisi jenuh kering permukaan (SSD) (Bj)	5000
Berat kerikil dalam air (Ba)	3130
Berat jenis curah $Bk / (Bj - Ba)$	2,642
Berat jenis jenuh kering permukaan $Bk / (Bk - Ba)$	2,728
Penyerapan air, % $((Bj - Bk) / Bk) \times 100\%$	1,19%

Berdasarkan pengamatan dan pengujian yang telah dilakukan, ditemukan bahwa berat jenis kering permukaan (SSD) agregat kasar memiliki nilai sebesar 2,674, yang akan digunakan dalam proses perhitungan *mix design*. Selain itu, ditemukan bahwa nilai rasio penyerapan air memenuhi dengan persyaratan sebesar 1,19% .

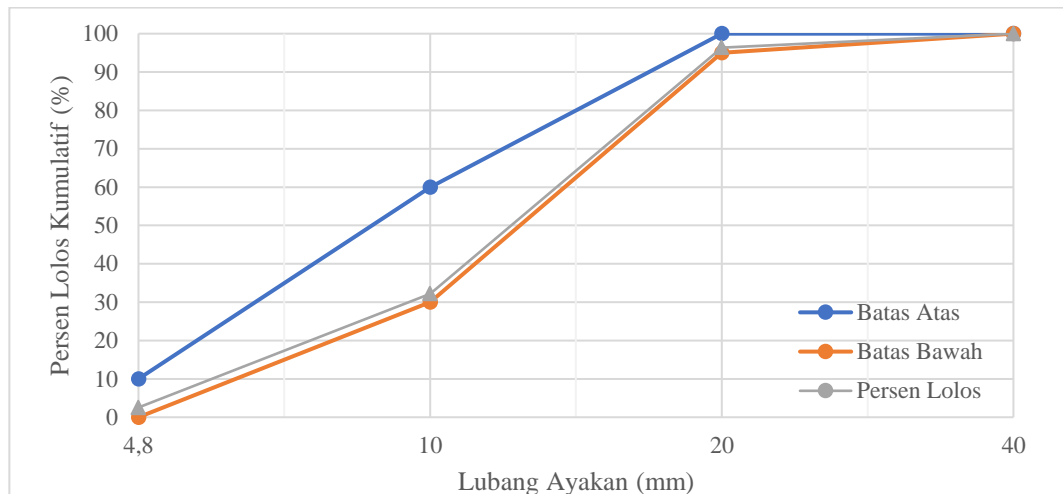
2. Uji Modulus Halus Butir Agregat Kasar

Hasil pengamatan modulus halus butir agregat kasar dapat dilihat pada tabel 5.7 dibawah ini.

Tabel 5. 7 Uji Modulus Halus Butir Agregat Kasar

Saringan (mm)	Berat tertinggal (gram)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	4257	85,1	85,1	14,9
4.8	303	6,05	91,16	8,83
2.4	287	5,7	96,9	3,1
1.2	4	0,8	96,98	3,019
0.6	66	1,3	98,3	1,69
0.3	0	0	98,3	1,69
0.15	0	0	98,3	1,69
Sisa	85	1,69	100	0
Jumlah	5002	100		

Dari data yang tercantum dalam tabel 5.7 diatas, didapatkan bahwa nilai modulus halus butir (MHB) = $\frac{665.05}{100} = 6,6$. Menurut hasil analisis tersebut, dapat dilihat kurva agregat kasar dengan ukuran 20 mm yang berdasarkan pada SNI-2834-2000 dan dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut ini.



Gambar 5. 2 Kurva Grafik Analisis saringan Agregat Kasar Ukuran 20 mm

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

Hasil dari pengamatan dan pengujian berat isi pada agregat kasar dapat dilihat pada tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5. 8 Uji Berat Isi Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat tabung (w1), gram	10735
Berat tabung + agregat kering oven (w2), gram	18535
Berat agregat (w3), gram	7794
Volume tabung (v), cm^3	5227.56
Berat volume gembur = $(w3/v)$, $gram/cm^3$	1,48

Berdasarkan pada tabel diatas berat volume gembur didapatkan sebesar $1,48 \text{ gram}/cm^3$, nilai tersebut telah sesuai dengan SNI 03-4804-1998 yang mensyaratkan nilai berat volume berkisar diantara 1,2-1,7.

b. Uji Berat Isi padat Agregat Kasar

Pada pengujian berat isi agregat kasar menghasilkan data yang dapat dilihat pada tabel 5.9.

Tabel 5. 9 Uji Berat Isi Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat tabung (w1), gram	10734
Berat tabung + agregat kering oven (w2), gram	18939
Berat agregat (w3), gram	8204
Volume tabung (v), cm^3	5227,5
Berat volume gembur = $(w3/v)$, $gram/cm^3$	1,56

Berdasarkan Tabel 5.9 didapatkan hasil volume gembur pada agregat kasar sebesar 1,56% $gram/cm^3$, nilai tersebut telah sesuai dengan yang disyaratkan SNI 03-4804-1998 bahwa nilai volume gembur berkisar antara 1,2-1,7.

5.2 Analisis Proporsi Campuran Beton

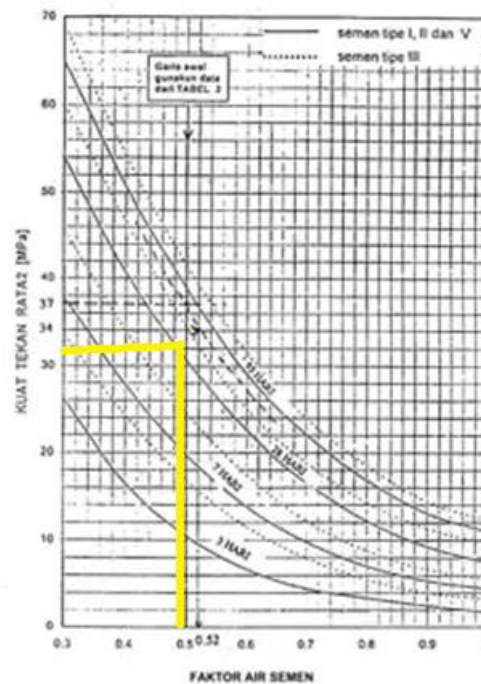
Pada penelitian yang penulis lakukan *mix design* yang digunakan sebagai pedoman adalah SNI 03-2834-2000 dengan kuat tekan rencana 20 MPa. Benda uji yang digunakan dalam kuat tekan merupakan 3 buah silinder sebagai acuan nilai kuat tekan rencana sesuai dengan nilai kuat tekan eksperimen yang proporsi *mix design* sama dengan benda uji utama. Berikut merupakan perhitungan *mix design* yang digunakan.

1. Kuat tekan rencana ($f'c$) beton adalah 20 MPa.
2. Semen yang digunakan adalah semen PCC merk tiga roda
3. Agregat kasar yang digunakan mempunyai ukuran maksimal 20 mm.
4. Agregat halus yang digunakan mempunyai ukuran maksimal 4.75 mm dengan masuk dalam daerah gradasi 2.

5. Benda berjumlah 3 buah silinder yang berarti tidak lebih dari 15 benda uji maka menggunakan nilai tambah kuat tekan 12 MPa berdasarkan pada tabel 3.3.
6. Perhitungan kuat tekan yang telah disesuaikan dijabarkan dibawah ini.

$$\begin{aligned}
 f_{cr} &= 20 + 12 \\
 &= 32 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

7. Menentukan faktor air semen (FAS)
 - a. Berdasar pada Tabel 3.2, ketika menggunakan semen *portland* tipe I dan agregat kasar dalam bentuk batu pecah, pada beton usia 28 hari, diketahui mendapatkan nilai kuat tekan sebesar 35 MPa pada uji silinder.
 - b. Faktor air semen dapat ditentukan dengan menggunakan grafik pada gambar 5.3.



Gambar 5. 3 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan FAS

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa nilai FAS sebesar 0,5. Namun, penting untuk diingat bahwa persyaratan yang tercantum dalam Tabel 3.5 menyatakan bernilai maksimal 0,6 karena beton ditempatkan diluar ruangan yang tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung. Sehingga dalam melakukan

mix design penulis menggunakan nilai FAS sebesar 0,5 karena masih kurang dari 0,6.

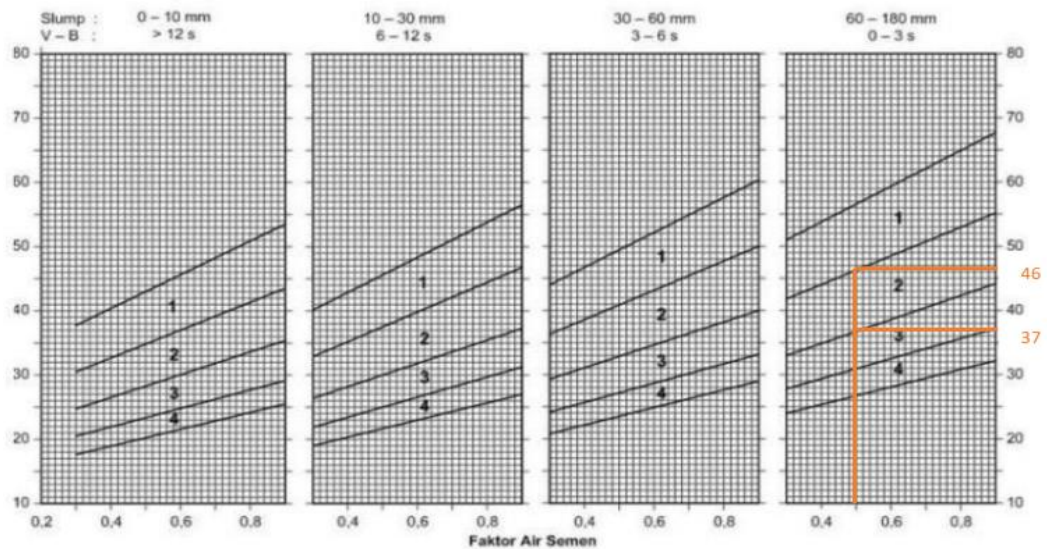
8. Nilai *slump* rencana pada *mix design* bernilai antara 60 mm hingga 180 mm.
9. Kadar air bebas dapat ditentukan dengan mengacu pada Tabel 3.6, yang memberikan nilai kadar air bebas. Dalam menentukan kadar air bebas penulis menggunakan persamaan 3.13 yaitu,

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

Sehingga kadar air bebas yang digunakan penulis sebesar 205 kg/m^3 .

10. Perhitungan jumlah semen yang dibutuhkan tiap 1 m^3 beton.
 - a. Kadar semen dihitung dengan menggunakan persamaan 3.14 berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar semen} &= \frac{\text{kadar air bebas}}{FAS} \\ &= \frac{205}{0,5} \\ &= 410 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$
 - b. Menurut Tabel 3.7 untuk benda uji yang disimpan di luar bangunan didapatkan nilai minimum 325 Kg/m^3 , sehingga penulis menggunakan jumlah semen sebesar 410 Kg/m^3
11. Nilai persentase agregat halus dapat ditentukan dengan menggunakan gambar 3.5. Hal ini berlaku dalam konteks rentang nilai *slump* berkisar antara 60 hingga 180 mm dan karakteristik butiran sesuai dengan daerah 2. Sehingga didapatkan nilai yang dapat dilihat pada gambar 5.6 berikut ini.



Gambar 5. 4 Grafik Presentasi Agregat Halus

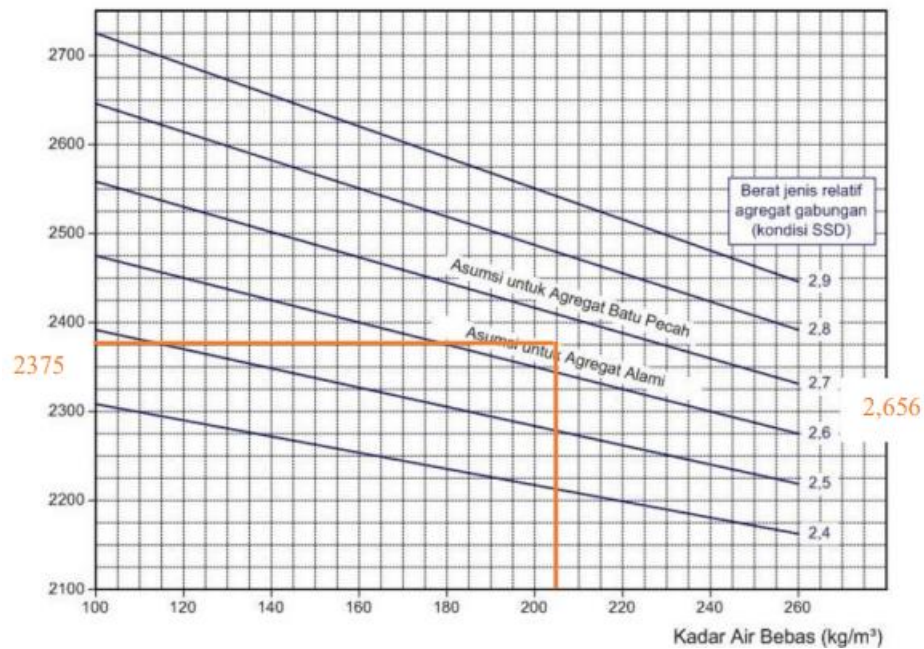
$$\begin{aligned} \text{Persentase Agregat Halus} &= \frac{46+37}{2} \times 100\% \\ &= 41,5\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase Agregat Kasar} &= 100\% - 41,5\% \\ &= 58,5\% \end{aligned}$$

12. Pada saat pengujian material didapatkan berat jenis agregat halus adalah $2,632 \text{ gram/cm}^3$ dan berat jenis agregat kasar adalah $2,674 \text{ gram/cm}^3$.

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Gabungan} &= \left(\frac{\text{Ag.halus}\%}{100} \times \text{BJ Ag. Halus} \right) + \left(\frac{\text{Ag. kasar}\%}{100} \times \right. \\ &\quad \left. \text{BJ Ag. kasar} \right) \\ &= \left(\frac{41,5}{100} \times 2,632 \right) + \left(\frac{58,5}{100} \times 2,674 \right) \\ &= 2,656 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

13. Pada Gambar 3.7 dapat dihitung volume beton segar berdasarkan kadar air bebas sebanyak 205 kgm^3 dan berat jenis agregat gabungan sebanyak $2,656 \text{ gram/cm}^3$. Hasil perhitungan ini menghasilkan nilai berat volume beton segar yang telah dipadatkan, terlihat pada Gambar 5.5 berikut ini.



Gambar 5. 5 Grafik Berat Isi Beton

menurut grafik 5.5 didapatkan kadar berat isi beton sebanyak 2375 kg/m^3

14. Perhitungan jumlah material pada proporsi berdasarkan perhitungan poin 13 sebagai berikut.

a. Kadar agregat gabungan = berat isi beton – kadar semen – kadar air Bebas

$$= 2375 - 410 - 205$$

$$= 1760 \text{ kg/m}^3$$

b. Kadar agregat halus = % agregat halus x kadar agregat gabungan

$$= 41,5\% \times 1760$$

$$= 730,4 \text{ kg/m}^3$$

c. Kadar agregat kasar = % agregat kasar x kadar agregat gabungan

$$= 58,5 \% \times 1760$$

$$= 1029,6 \text{ kg/m}^3$$

15. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan didapat kebutuhan material tiap $1 m^3$ sebagai berikut.

- a. Semen = 410 kg
- b. Air = 205 kg
- c. Agregat Halus = 730,4 kg
- d. Agregat Kasar = 1029,6 kg

16. Berikut merupakan perhitungan volume benda uji silinder dan balok yang akan digunakan.

$$\begin{aligned} \text{Volume Balok} &= l \times b \times h \\ &= 1,5 \times 0,15 \times 0,20 \\ &= 0,045 m^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Silinder} &= \pi \times r^2 \times h \\ &= \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\ &= 0,0053 m^3 \end{aligned}$$

17. Hasil analisis campuran beton memerlukan penyesuaian nilai penyusutan. Dalam penelitian ini, nilai penyusutan yang digunakan adalah 20%. Berikut merupakan kebutuhan material setelah dihitung faktor penyusutan 20%.

a. Jumlah kebutuhan material pada benda uji balok

$$\begin{aligned} \text{I.Semen} &= 410 \times 0,045 \times 120\% \times 6 \\ &= 132,84 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{II.Air} &= 205 \times 0,045 \times 120\% \times 6 \\ &= 66,42 \text{ Liter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{III. Agregat Halus} &= 730,4 \times 0,045 \times 120\% \times 6 \\ &= 236,65 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{IV. Agregat kasar} &= 1029.6 \times 0.045 \times 120\% \times 6 \\ &= 333,59 \text{ Kg} \end{aligned}$$

b. Jumlah kebutuhan material pada benda uji silinder

$$\begin{aligned} \text{I. Semen} &= 410 \times 0,00543 \times 120\% \times 3 \\ &= 7,8 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{II. Air} &= 205 \times 0.00543 \times 120\% \times 3 \\ &= 3,9 \text{ Liter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{III. Agregat Halus} &= 730,4 \times 0,00543 \times 120\% \times 3 \\ &= 13,94 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{IV. Agregat kasar} &= 1029.6 \times 0.0543 \times 120\% \times 3 \\ &= 19,64 \text{ Kg} \end{aligned}$$

5.3 Pengujian Kuat Tekan Beton

Komponen utama pada penelitian ini adalah 6 buah balok beton bertulang dan 3 buah beton silinder. Setelah mencapai masa perawatan yang diperlukan, dilanjutkan dengan pengujian menggunakan alat mesin uji tekan (*compression testing machine*). Pengujian ini bertujuan untuk menilai apakah kekuatan tekan yang telah direncanakan telah sesuai dengan *mix design*. Berikut merupakan rekapitulasi hasil dari pengujian kuat tekan dari benda uji silinder beton yang dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5. 10 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Benda Uji	Berat (Kg)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Max (N)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan rerata (MPa)
BN 1	12,974	150,8	307	17860,4569	403860	22,61	21,5
BN 2	12,941	151,2	294	17955,333	389341	21,68	
BN 3	12,701	151,5	305	18026,655	363370	20,15	

Berikut merupakan contoh perhitungan kuat tekan silinder beton,

- Diketahui diameter = 150,8 mm, sehingga jari jari nya sebesar 75,4 mm
- $$A = \pi \times r^2$$

$$= \pi \times 75,4^2$$

$$= 17860,456 \text{ mm}^2$$
- $$F'c = \frac{403860}{17860,456}$$

$$= 22,6 \text{ MPa}$$

Berdasarkan pengujian kuat tekan yang dilakukan pada sampel silinder, didapatkan rata rata kuat tekan ($f'c$) sebesar 21,5 MPa yang menunjukkan bahwa hasil dari pengujian telah sesuai dengan mutu rencana pada *mix design*.

5.4 Pengujian Baja Tulangan

Material baja yang digunakan dilakukan uji tarik. Dalam penelitian ini, ukuran D10 digunakan untuk tulangan tarik dan tulangan tekan menggunakan baja ukuran P6.

1. Uji Tarik Baja D10

Melalui pengujian tarik baja ini menghasilkan hasil data beban saat leleh dan maksimum. Berikut merupakan analisis pengujian tarik tulangan D10.

$$\text{Berat} = 0,238 \text{ kg}$$

$$\text{Berat per satuan panjang} = \frac{0,238 \text{ kg}}{0,5 \text{ m}} = 0,476 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Diameter} = 12,8 \times \sqrt{0,476}$$

$$= 8,78 \text{ mm}$$

$$\text{Luas} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \pi 8.78^2 \\
 &= 60,55 \text{ mm}^2 \\
 P_u &= 3883,58 \text{ kgf} \\
 &= 3883,58 \times 9,81 \\
 &= 38090 \text{ N} \\
 P_y &= 2744,062 \text{ kgf} \\
 &= 2744,062 \times 9,81 \\
 &= 26919,25 \text{ N} \\
 f_u &= \frac{P_u}{\text{Luas Penampang}} \\
 &= \frac{38090}{60,55} \\
 &= 629,25 \text{ MPa} \\
 f_y &= \frac{P_y}{\text{Luas Penampang}} \\
 &= \frac{26919,25}{60,55} \\
 &= 444,6 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2. Uji Tarik Baja Ringan (Uk. 4x2)

Melalui pengujian tarik baja ini menghasilkan hasil data beban saat leleh dan maksimum. Berikut merupakan analisis pengujian tarik tulangan baja ringan (Uk. 4x2).

$$\text{Lebar (l)} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal (t)} = 1 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Penampang} &= l \times t \\
 &= 20 \times 1 \\
 &= 20 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &= 912 \text{ kgf} \\
 &= 912 \times 9,81 \\
 &= 8946,72 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_y &= 765 \text{ kgf} \\
 &= 765 \times 9,81 \\
 &= 7504,65 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_u &= \frac{P_u}{\text{Luas Penampang}} \\
 &= \frac{8946,72}{20} \\
 &= 447,3 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_y &= \frac{P_y}{\text{Luas Penampang}} \\
 &= \frac{7504}{20} \\
 &= 375,2 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

3. Uji Tarik Baja Ringan (Uk. 3x2)

Melalui pengujian tarik baja ini menghasilkan hasil data beban saat leleh dan maksimum. Berikut merupakan analisis pengujian tarik tulangan baja ringan (Uk. 3x2).

$$\text{Lebar (l)} = 15 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal (t)} = 1 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Penampang} &= l \times t \\
 &= 15 \times 1 \\
 &= 15 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &= 681 \text{ kgf} \\
 &= 681 \times 9,81 \\
 &= 6680,61 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_y &= 562 \text{ kgf} \\
 &= 562 \times 9,81 \\
 &= 5513,22 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_u &= \frac{P_u}{\text{Luas Penampang}} \\
 &= \frac{6680,61}{15} \\
 &= 445,4 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_y &= \frac{P_y}{\text{Luas Penampang}} \\
 &= \frac{5513,22}{15} \\
 &= 367,5 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan hasil analisis kuat tarik pada baja ringan dan baja tulangan yang dapat dilihat pada tabel 5.10.

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Analisis Tulangan

Tulangan	Luas	Beban Yield	Beban Maksimum	Fu (MPa)	fy (MPa)
D10	60,55	26918,64	38098	629,3	444,6
4X2	10	7504,65	8946,72	447,3	375,2
3x2	10	5513,22	6680,61	445,4	367,5

5.5 Pengujian Lentur Balok

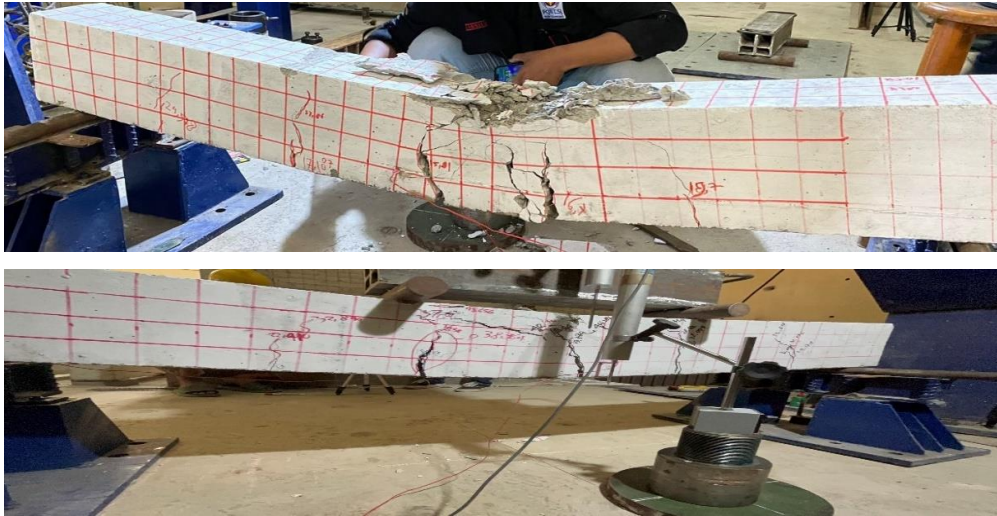
Balok beton yang telah mengalami *curing* selama 28 hari, selanjutnya dilakukan pengujian lentur balok dengan metode pembebanan dua titik yang dapat dilihat pada lampiran 4 gambar 4.2. Hasil pengujian dari masing masing sampel balok dijabarkan sebagai berikut.

5.5.1 Pengujian Balok Kontrol

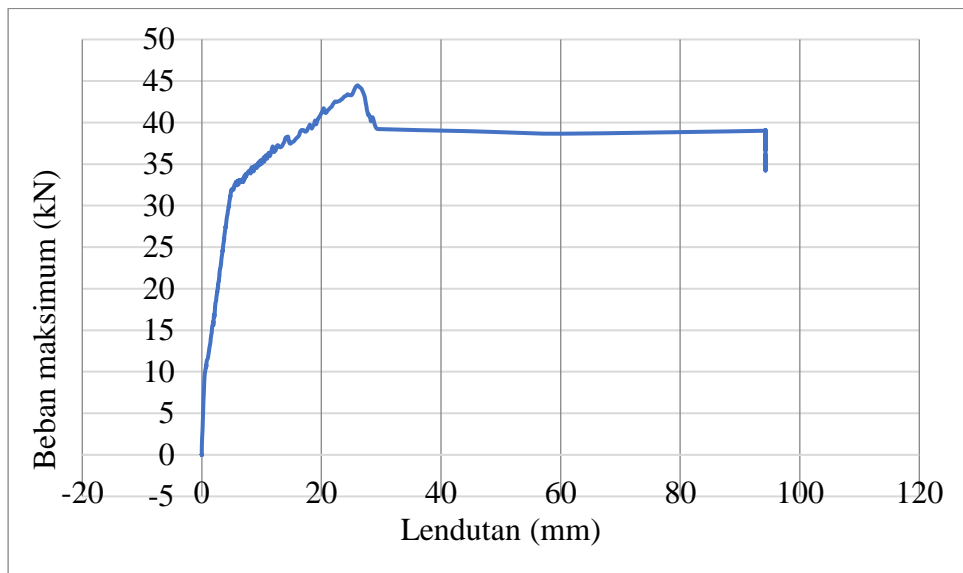
Pada seluruh pengujian lentur balok kontrol, terjadi retakan lentur yang dimulai dari bagian bawah dan secara perlahan merambat ke atas sejalan dengan peningkatan beban yang diterima. Retakan ini kemudian merambat hingga mencapai daerah tekan, serta semakin melebar dan seringkali disertai dengan munculnya retakan baru di sekitar area dengan karakteristik serupa. Semua balok kontrol mencapai beban ultimit di mana terjadi retakan pada daerah tumpuan balok beton. Lendutan akhir yang terjadi pada balok kontrol saat mencapai beban ultimit sangat signifikan, menunjukkan bahwa baja tulangan telah meleleh, namun tidak putus. Berikut merupakan hasil pengujian lentur.

1. Balok Baja Tulangan (BJ 01 -1)

Sampel BJ 01 – 1 memiliki berat 118,6 kg dengan dimensi 150 x 200 x 1580 mm. Beban maksimum yang dapat ditahan sebesar 44,472 kN dengan lendutan 26,1 mm, hasil pengujian serta grafik beban lendutan terdapat pada gambar 5.7 dan 5.8 berikut ini.



Gambar 5. 6 Benda Uji BJ 01 – 1



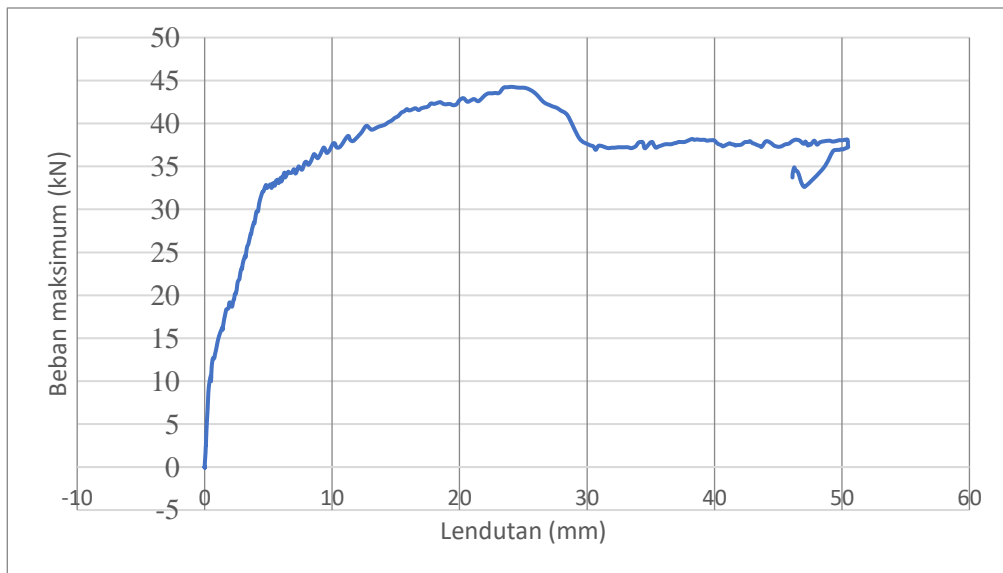
Gambar 5. 7 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 01 -1

2. Balok Baja Tulangan (BJ 01 -2)

Sampel BJ 01 – 2 memiliki berat 118,9 kg dengan dimensi 150 x 200 x 1580 mm. Beban maksimum yang dapat ditahan sebesar 44,268 dengan lendutan sebesar 24,075 mm, hasil pengujian serta grafik beban lendutan terdapat pada gambar 5.9 dan 5.10 berikut ini.



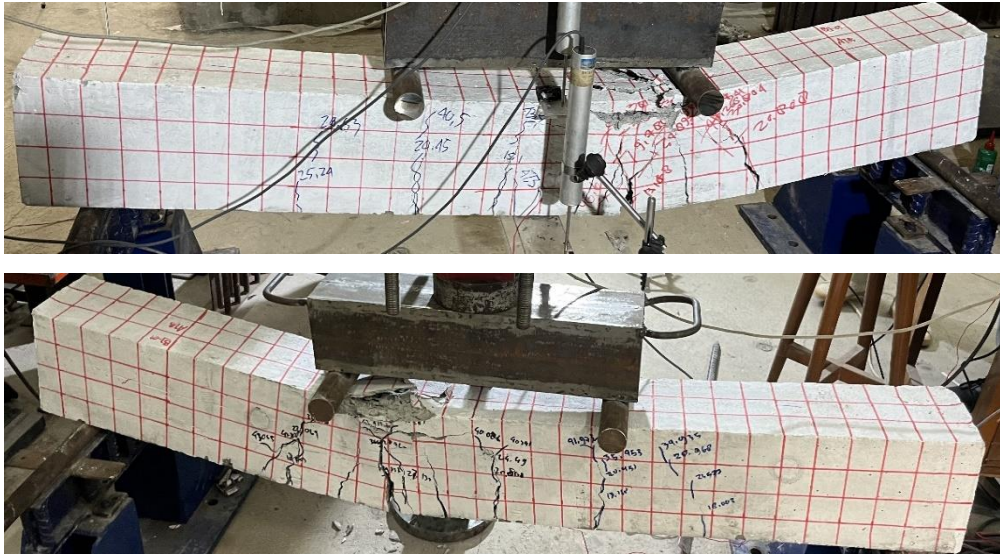
Gambar 5. 8 Benda Uji Bj 01 – 2



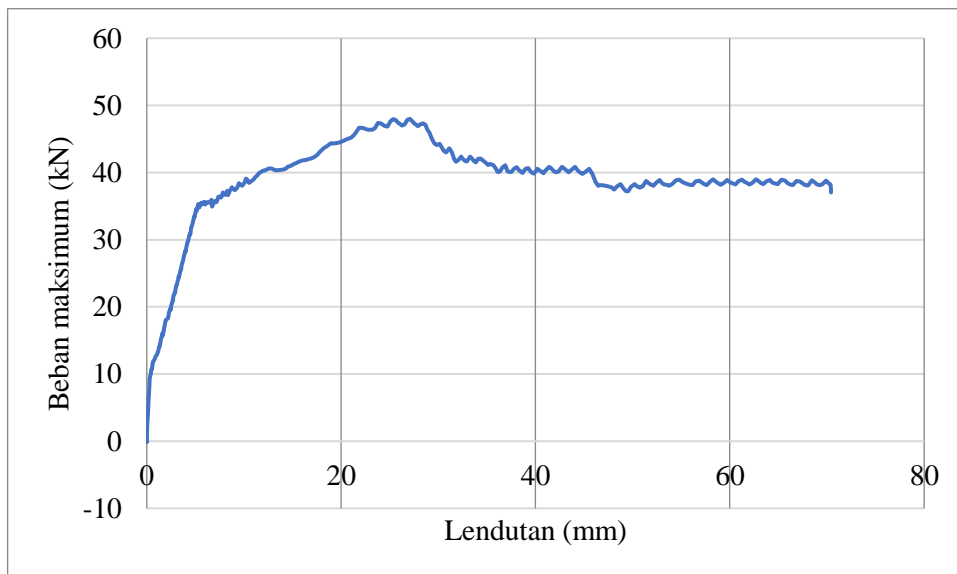
Gambar 5. 9 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 01 -2

3. Balok Baja Tulangan (BJ 01 -3)

Sampel BJ 01 – 3 memiliki berat 118,5 kg dengan dimensi 150 x 200 x 1580 mm. Beban maksimum yang dapat ditahan sebesar 47,91 dengan lendutan sebesar 27,084 mm, hasil pengujian serta grafik beban lendutan terdapat pada gambar 5.11 dan 5.12 berikut ini.



Gambar 5. 10 Benda Uji BJ 01 – 3



Gambar 5. 11 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 01 – 3

5.5.2 Pengujian Balok Variasi (BJ 02)

Pada Balok BJ 02 – 1, pembebanan meningkat hingga terjadi penurunan hingga terjadi retakan pada daerah tumpuan sepanjang 15 s.d 20 cm dari bagian bawah hingga atas. Setelah itu beban yang diterima cenderung menurun, jika dilihat dari tipikal pola keretakannya pada daerah tumpuan dan dilihat tulangan tidak putus saat beban *ultimate* mengindikasikan terjadinya retak lekatan atau slip antara tulangan BJ 02 – 1 dengan beton.

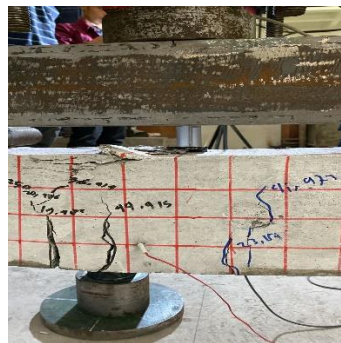
Balok BJ 02 – 2 dan BJ 02 – 3, pembebanan terus meningkat disertai retakan pada daerah lapangan balok beton. Kemudian setelah pembebanan meningkat hingga beban *Ultimate* terdengar suara ledakan putusnya salah satu tulangan baja ringan (*hollow*) (Gambar 5.12). Sebelum terjadi bunyi retakan terdapat retakan baru sepanjang 15 s.d 20 cm secara tiba tiba pada daerah lapangan balok. Setelah beban *ultimate* balok beton BJ 02 – 2 dan BJ 02 - 3 mengalami keruntuhan lentur ditandai dengan menurunnya nilai beban diiringi lendutan yang semakin bertambah.

1. Balok Baja Ringan (BJ 02 -1)

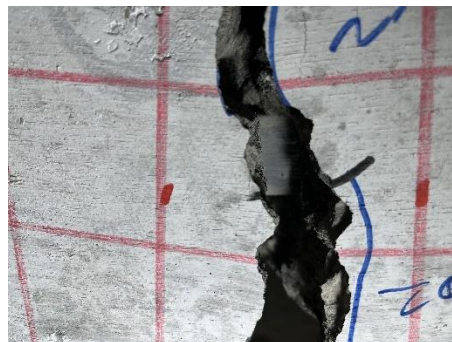
Sampel BJ 02 – 1 memiliki berat 117,4 kg dengan dimensi 150 x 200 x 1580 mm. Beban maksimum yang dapat ditahan sebesar 43,809 kN dengan lendutan sebesar 19,4 mm, hasil pengujian serta grafik beban lendutan terdapat pada gambar 5.13 s.d. 5.16 berikut ini.



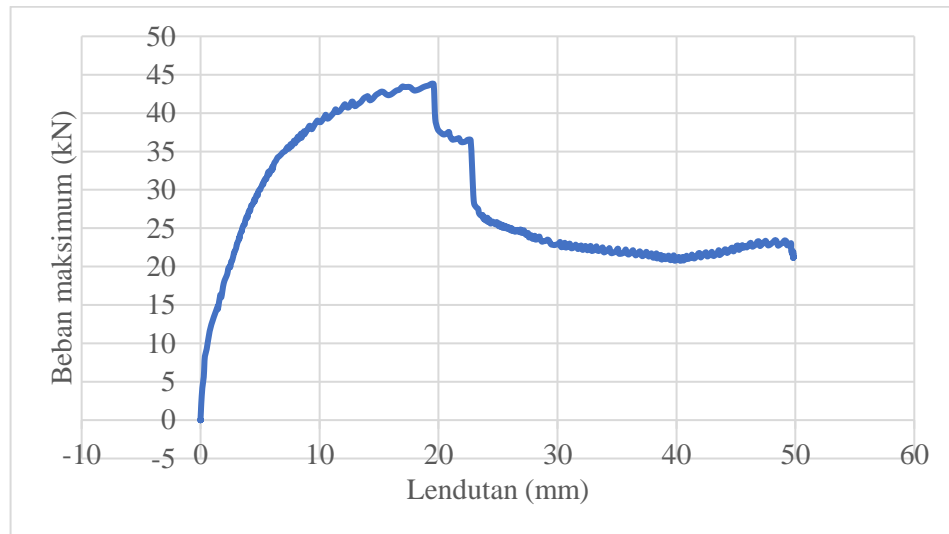
Gambar 5. 12 Benda Uji Balok BJ 02 - 1



Gambar 5. 13 Detail Pola Keruntuhan Balok BJ 02 – 1



Gambar 5. 14 Detail Tulangan pada sampel BJ 02 - 1



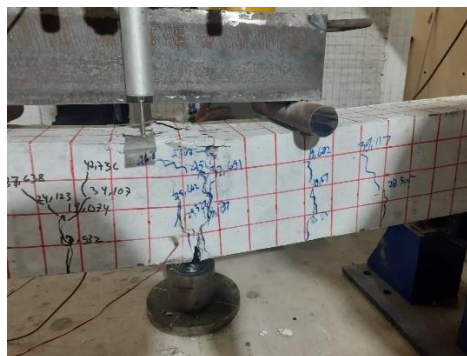
Gambar 5. 15 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 02 - 1

2. Balok Baja Ringan (BJ 02 -2)

Sampel BJ 02 – 2 memiliki berat 118,1 kg dengan dimensi 150 x 200 x 1580 mm. Beban maksimum yang dapat ditahan sebesar 48,5 kN dengan lendutan sebesar 20,36 mm, hasil pengujian serta grafik beban lendutan terdapat pada gambar 5.17 s.d. 5.20 berikut ini.



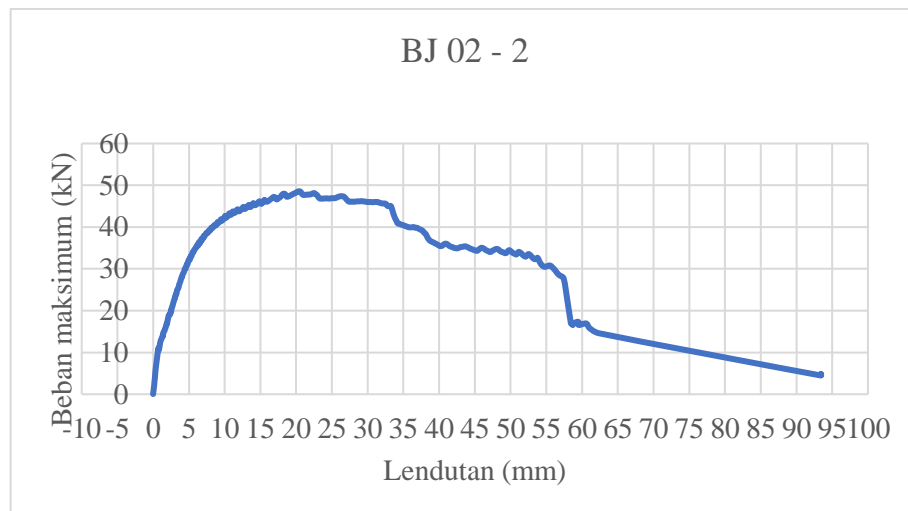
Gambar 5. 16 Benda Uji Balok BJ 02 -2



Gambar 5. 17 Detail Pola Keruntuhan BJ 02 – 2



Gambar 5. 18 Detail Tulangan pada Sampel BJ 02 -2



Gambar 5. 19 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 02 - 2

3. Balok Baja Ringan (BJ 02 -3)

Sampel BJ 02 – 3 memiliki berat 118,1 kg dengan dimensi 150 x 200 x 1580 mm. Beban maksimum yang dapat ditahan sebesar 48,5 kN dengan lendutan sebesar 19,79 mm, hasil pengujian serta grafik beban lendutan terdapat pada gambar 5.17 s.d. 5.20 berikut ini.



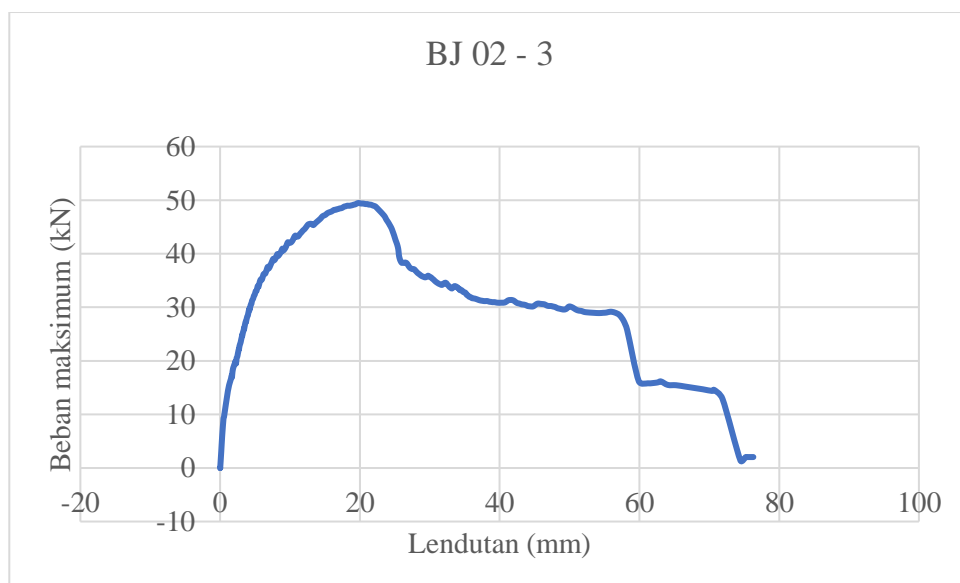
Gambar 5. 20 Benda Uji Balok BJ 02 -3



Gambar 5. 21 Detail Pola Keruntuhan BJ 02 – 3



Gambar 5. 22 Detail Tulangan pada Sampel BJ 02 -3

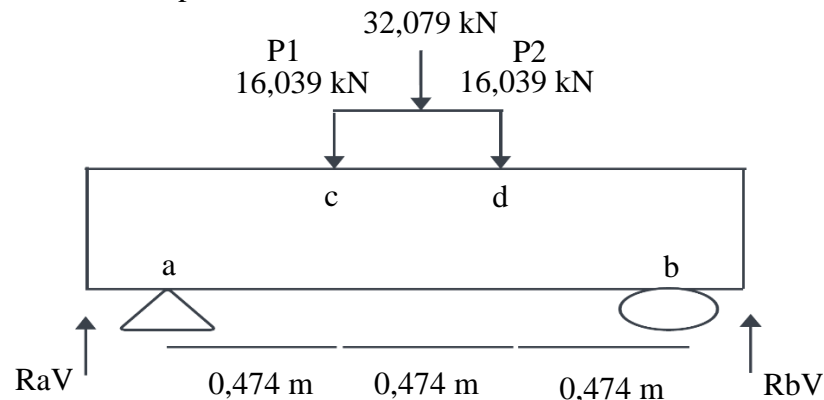


Gambar 5. 23 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 02 – 3

5.6 Analisis Momen Lentur Eksperimen Baja Ringan (*Hollow*) dan Baja Tulangan

Pengujian lentur balok beton bertulang menghasilkan data untuk analisis momen nominal eksperimen. Berikut merupakan analisis dari momen lentur balok.

1. Momen Nominal eksperimen BJ 01 - 1



Gambar 5. 24 Ilustrasi Pengujian BJ 01-1

Diketahui,

$$P1 = 16,039 \text{ kN}$$

$$P2 = 16,039 \text{ kN}$$

Reaksi yang terjadi pada tumpuan,

$$\begin{aligned} \sum M_a &= P1 \times 0,474 + P2 \times 0,948 - R_{bv} \times 1,422 \\ &= 16,039 \times 0,474 + 16,039 \times 0,948 - R_{bv} \times 1,422 \end{aligned}$$

$$R_{bv} \times 1,422 = 7,603 + 15,206$$

$$R_{bv} = \frac{22,809}{1,422}$$

$$R_{bv} = 16,039 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \sum M_b &= -P2 \times 0,474 - P1 \times 0,948 + R_{av} \times 1,422 \\ &= -16,039 \times 0,474 - 16,039 \times 0,948 + R_{av} \times 1,422 \end{aligned}$$

$$R_{av} \times 1,422 = 7,603 + 15,206$$

$$R_{av} = \frac{22,809}{1,422}$$

$$R_{av} = 16,039 \text{ kN}$$

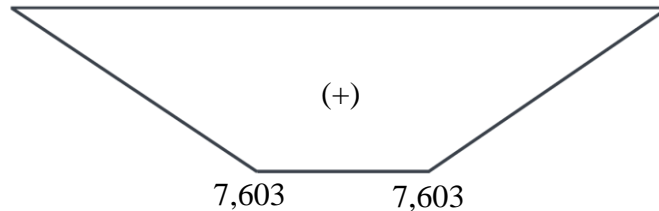
Momen yang terjadi pada balok, ditinjau dari kiri

$$\begin{aligned} \sum M_c &= R_{av} \times 0,474 \\ &= 16,039 \times 0,474 \\ &= 7,603 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_d &= R_{av} \times 0,984 - P1 \times 0,474 \\ &= 16,039 \times 0,984 - 16,039 \times 0,474 \end{aligned}$$

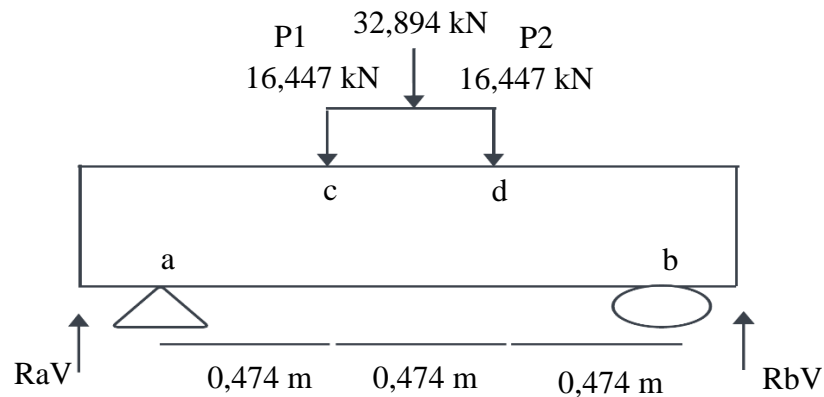
$$= 15,206 - 7,603$$

$$= 7,603 \text{ kNm}$$



Gambar 5. 25 Bending Moment Diagram (BMD) BJ 01 – 1

2. Momen Nominal eksperimen BJ 01 – 2



Gambar 5. 26 Ilustrasi Pengujian BJ 01-2

Diketahui,

$$P1 = 16,447 \text{ kN}$$

$$P2 = 16,447 \text{ kN}$$

Reaksi yang terjadi pada tumpuan,

$$\sum Ma = P1 \times 0,474 + P2 \times 0,948 - Rbv \times 1,422$$

$$= 16,447 \times 0,474 + 16,447 \times 0,948 - Rbv \times 1,422$$

$$Rbv \times 1,422 = 7,796 + 15,582$$

$$Rbv = \frac{23,378}{1,422}$$

$$Rbv = 16,447 \text{ kN}$$

$$\sum Mb = -P2 \times 0,474 - P1 \times 0,948 + Rav \times 1,422$$

$$= -16,447 \times 0,474 - 16,447 \times 0,948 + Rav \times 1,422$$

$$Rav \times 1,422 = 7,796 + 15,582$$

$$Rav = \frac{23,378}{1,422}$$

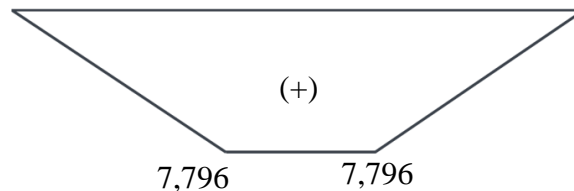
$$Rav = 16,447 \text{ kN}$$

Momen yang terjadi pada balok, ditinjau dari kiri

$$\sum Mc = Rav \times 0,474$$

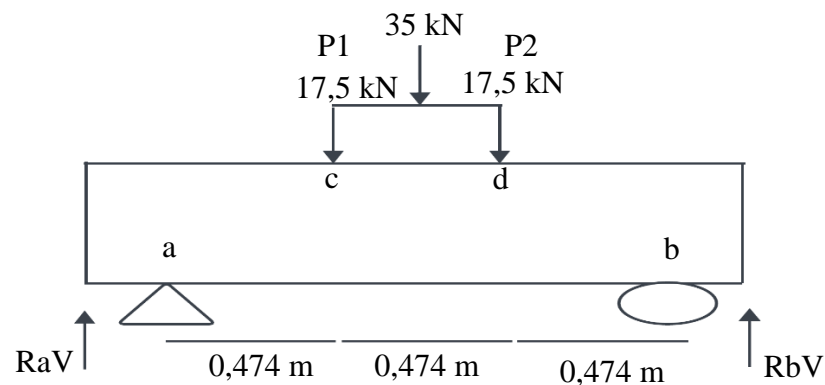
$$= 16,447 \times 0,474$$

$$\begin{aligned}
 &= 7,796 \text{ kNm} \\
 \sum M_d &= R_{av} \times 0,948 - P_1 \times 0,474 \\
 &= 16,447 \times 0,948 - 16,447 \times 0,474 \\
 &= 15,582 - 7,796 \\
 &= 7,796 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$



Gambar 5. 27 Bending Moment Diagram (BMD) BJ 01 – 2

3. Momen Nominal eksperimen BJ 01 – 3



Gambar 5. 28 Ilustrasi Pengujian BJ 01-3

Diketahui,

$$P_1 = 17,5 \text{ kN}$$

$$P_2 = 17,5 \text{ kN}$$

Reaksi yang terjadi pada tumpuan,

$$\begin{aligned}
 \sum M_a &= P_1 \times 0,474 + P_2 \times 0,948 - R_{bv} \times 1,422 \\
 &= 17,5 \times 0,474 + 17,5 \times 0,948 - R_{bv} \times 1,422
 \end{aligned}$$

$$R_{bv} \times 1,422 = 8,295 + 16,59$$

$$R_{bv} = \frac{24,885}{1,422}$$

$$R_{bv} = 17,5 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \sum M_b &= -P_2 \times 0,474 - P_1 \times 0,948 + R_{av} \times 1,422 \\
 &= -17,5 \times 0,474 - 17,5 \times 0,948 + R_{av} \times 1,422
 \end{aligned}$$

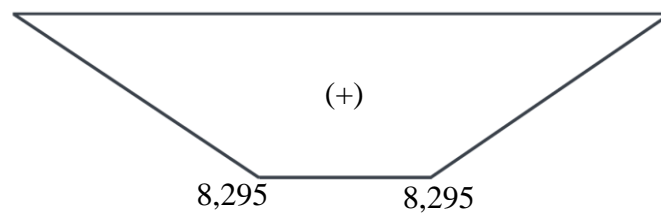
$$R_{av} \times 1,422 = 8,295 + 16,59$$

$$R_{av} = \frac{24,885}{1,422}$$

$$R_{av} = 17,5 \text{ kN}$$

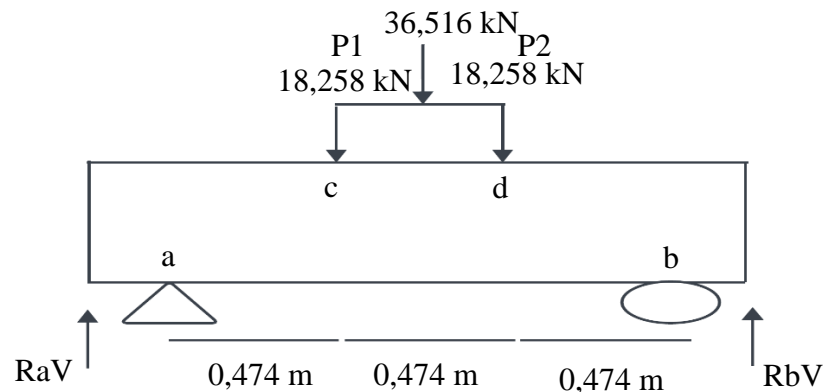
Momen yang terjadi pada balok, ditinjau dari kiri

$$\begin{aligned}
 \sum M_c &= R_{av} \times 0,474 \\
 &= 17,5 \times 0,474 \\
 &= 8,295 \text{ kNm} \\
 \sum M_d &= R_{av} \times 0,948 - P_1 \times 0,474 \\
 &= 17,5 \times 0,948 - 17,5 \times 0,474 \\
 &= 16,59 - 8,295 \\
 &= 8,295 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$



Gambar 5. 29 Banding Moment Diagram (BMD) BJ 01 – 3

4. Momen Nominal eksperimen BJ 02 – 1



Gambar 5. 30 Ilustrasi Pengujian BJ 02-1

Diketahui,

$$P_1 = 18,258 \text{ kN}$$

$$P_2 = 18,258 \text{ kN}$$

Reaksi yang terjadi pada tumpuan,

$$\begin{aligned}
 \sum M_a &= P_1 \times 0,474 + P_2 \times 0,948 - R_{bv} \times 1,422 \\
 &= 18,258 \times 0,474 + 18,258 \times 0,948 - R_{bv} \times 1,422
 \end{aligned}$$

$$R_{bv} \times 1,422 = 8,564 + 17,128$$

$$R_{bv} = \frac{25,682}{1,422}$$

$$R_{bv} = 18,258 \text{ kN}$$

$$\sum M_b = -P_2 \times 0,474 - P_1 \times 0,948 + R_{av} \times 1,422$$

$$R_{av} \times 1,422 = 8,564 + 17,128$$

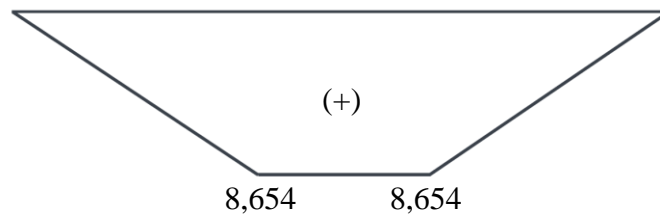
$$R_{av} = \frac{25,682}{1,422}$$

$$R_{av} = 18,258 \text{ kN}$$

Momen yang terjadi pada balok

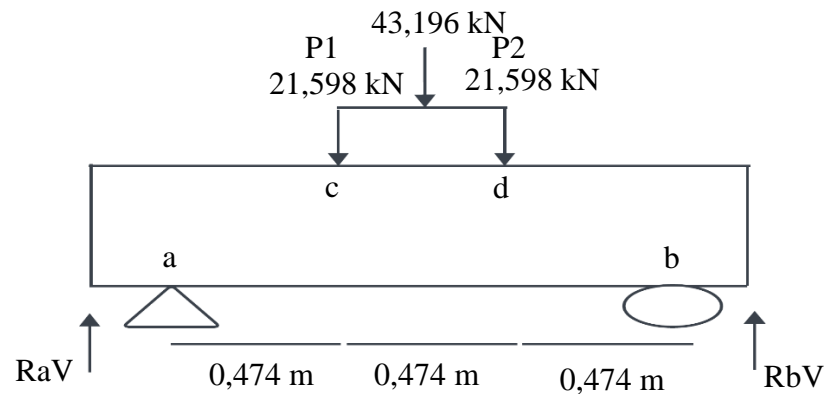
$$\begin{aligned}\sum M_c &= R_{av} \times 0,474 \\ &= 18,258 \times 0,474 \\ &= 8,564 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum M_d &= R_{av} \times 0,948 - P_1 \times 0,474 \\ &= 18,258 \times 0,948 - 18,258 \times 0,474 \\ &= 17,128 - 8,654 \\ &= 8,654 \text{ kNm}\end{aligned}$$



Gambar 5. 31 Banding Moment Diagram (BMD) BJ 02 -1

5. Momen Nominal eksperimen BJ 02 – 2



Gambar 5. 32 Ilustrasi Pengujian BJ 02-2

Diketahui,

$$P_1 = 21,598 \text{ kN}$$

$$P_2 = 21,598 \text{ kN}$$

Reaksi yang terjadi pada tumpuan,

$$\begin{aligned}\sum M_a &= P_1 \times 0,474 + P_2 \times 0,948 - R_{bv} \times 1,422 \\ &= 21,598 \times 0,474 + 21,598 \times 0,948 - R_{bv} \times 1,422\end{aligned}$$

$$R_{bv} \times 1,422 = 10,238 + 20,476$$

$$R_{bv} = \frac{30,714}{1,422}$$

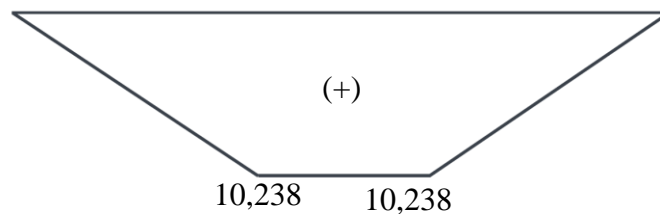
$$R_{bv} = 21,598 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\sum M_b &= -P_2 \times 0,474 - P_1 \times 0,948 + R_{av} \times 1,422 \\ &= -21,598 \times 0,474 - 21,598 \times 0,948 + R_{av} \times 1,422\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{av} \times 1,422 &= 10,238 + 20,476 \\ R_{av} &= \frac{30,714}{1,422} \\ R_{av} &= 21,598 \text{ kN} \end{aligned}$$

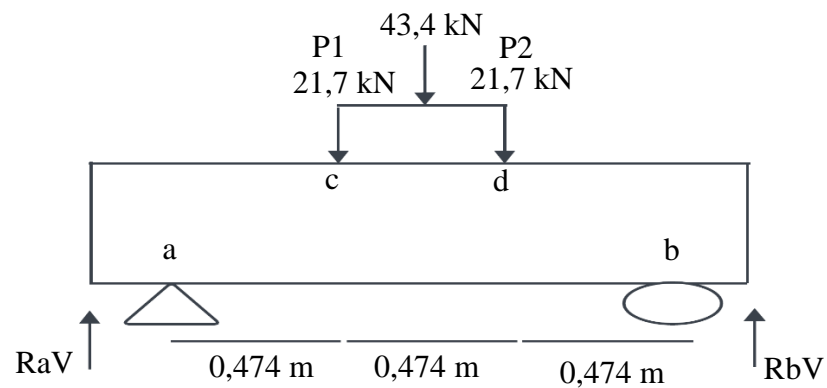
Momen yang terjadi pada balok, ditinjau dari kiri

$$\begin{aligned} \sum M_c &= R_{av} \times 0,474 \\ &= 21,598 \times 0,474 \\ &= 10,238 \text{ kNm} \\ \sum M_d &= R_{av} \times 0,948 - P_1 \times 0,474 \\ &= 21,598 \times 0,948 - 21,598 \times 0,474 \\ &= 20,476 - 10,238 \\ &= 10,238 \text{ kNm} \end{aligned}$$



Gambar 5. 33 Bending Moment Diagram (BMD) BJ 02 -2

6. Momen Nominal eksperimen BJ 02 - 3



Gambar 5. 34 Ilustrasi Pengujian BJ 02-3

Diketahui,

$$P_1 = 21,7 \text{ kN}$$

$$P_2 = 21,7 \text{ kN}$$

Reaksi yang terjadi pada tumpuan,

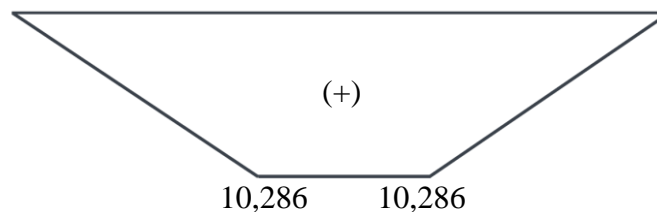
$$\begin{aligned} \sum M_a &= P_1 \times 0,474 + P_2 \times 0,948 - R_{bv} \times 1,422 \\ &= 21,7 \times 0,474 + 21,7 \times 0,948 - R_{bv} \times 1,422 \end{aligned}$$

$$R_{bv} \times 1,422 = 10,285 + 20,57$$

$$\begin{aligned}
 R_{bv} &= \frac{30,855}{1422} \\
 R_{bv} &= 21,7 \text{ kN} \\
 \sum M_b &= -P_2 \times 0,474 - P_1 \times 0,948 + R_{av} \times 1,422 \\
 &= -21,7 \times 0,474 - 21,7 \times 0,948 + R_{av} \times 1,422 \\
 R_{av} \times 1,422 &= 10,285 + 20,57 \\
 R_{av} &= \frac{30,855}{1,422} \\
 R_{av} &= 21,7 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Momen yang terjadi pada balok, ditinjau dari kiri

$$\begin{aligned}
 \sum M_c &= R_{av} \times 0,474 \\
 &= 21,7 \times 0,474 \\
 &= 10,286 \text{ kNm} \\
 \sum M_d &= R_{av} \times 0,948 - P_1 \times 0,474 \\
 &= 21,7 \times 0,948 - 21,7 \times 0,474 \\
 &= 10,286 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$



Gambar 5. 35 Banding Moment Diagram (BMD) BJ 02 -3

Berikut merupakan rekapitulasi dari momen nominal eksperimen yang terjadi pada BJ 01 dan BJ 02 yang dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Momen Nominal Eksperimen

Kode	Beban (kN)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Momen Nomnal Eksperimen (kNm)	Momen Nomnal Eksperimen (kNm)
BJ 01-1	32,079	1422	150	200	7,603	7,886
BJ 01-2	32,894	1422	150	200	7,796	
BJ 01-3	35	1422	150	200	8,259	
BJ 02-1	36,516	1422	150	200	8,654	9,726
BJ 02-2	43,196	1422	150	200	10,238	
BJ 02-3	43,4	1422	150	200	10,286	

Dari Tabel 5.12 rekapitulasi momen nominal eksperimen, diketahui bahwa rata-rata momen nominal eksperimen dari balok BJ 01 sebesar 7,446 kNm, sedangkan balok BJ 02 sebesar 9,726 kNm. Sehingga dapat diketahui bahwa balok

menggunakan tulangan baja ringan dapat meningkatkan momen nominal eksperimen sebesar 1,84 kNm atau 18,92 % dari balok menggunakan baja tulangan.

5.7 Analisis Momen Lentur Teoritis Baja Ringan (*Hollow*) dan Baja Tulangan

Berikut merupakan langkah langkah dalam menganalisis momen nominal yang terjadi pada balok beton dengan tulangan rangkap yang digunakan dalam penelitian ini.

- a. Balok beton tulangan baja tulangan (BJ 01)

Diketahui

$$\text{Lebar balok (B)} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi balok (H)} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton (sb)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu beton (F'c)} = 21,5 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu baja (Fy)} = 444,6 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulus elastisitas (E)} = 200000 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter tul. Pokok tekan} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tul. Pokok tarik} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tul. Sengkang} = 6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi titik berat tarik (ds)} &= S_b + D \text{ Tul sengkang} + (0,5 \times D \text{ pokok} \\ &\text{tarik)} \end{aligned}$$

$$= 40 + 6 + (0,5 \times 10)$$

$$= 51 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi titik berat tekan (ds')} &= S_b + D \text{ Tul sengkang} + (0,5 \times D \text{ pokok} \\ &\text{tekan)} \end{aligned}$$

$$= 40 + 6 + (0,5 \times 10)$$

$$= 51 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi efektif balok (d)} = H - ds$$

$$= 200 - 51$$

$$\begin{aligned}
 &= 149 \text{ mm} \\
 \text{Luas penampang tarik (As)} &= n \times \pi \times 0,25 \times D^2 \\
 &= 2 \times \pi \times 0,25 \times 10^2 \\
 &= 157,079 \text{ mm}^2 \\
 \text{Luas penampang tekan (As')} &= n \times \pi \times 0,25 \times D^2 \\
 &= 2 \times \pi \times 0,25 \times 10^2 \\
 &= 157,079 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

1) Menghitung ρ dan ρ'

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{As}{Bd} = \frac{157,079}{150 \times 149} = 0,00702 \\
 \rho' &= \frac{As'}{Bd} = \frac{157,079}{150 \times 149} = 0,00702 \\
 (\rho - \rho') &= 0,00702 - 0,00702 \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

2) Periksa tulangan telah leleh atau belum

Nilai $\beta_1 = 0,85$, untuk $f'_c = 21,5 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned}
 k &= 0,85 \times \beta_1 \times \left(\frac{f'_c}{f_y}\right) \times \left(\frac{d_s}{d}\right) \times \left(\frac{600}{600-f_y}\right) \\
 &= 0,85 \times 0,85 \times \left(\frac{21,5}{444,6}\right) \times \left(\frac{51}{149}\right) \times \left(\frac{600}{600-444,6}\right) \\
 &= 0,0454
 \end{aligned}$$

$(\rho - \rho') < k$ (tulangan tekan belum leleh)

Untuk $f'_c = 21,5$ maka $\rho_b = 0,0271$

$$\begin{aligned}
 \rho_{maks} &= \left(\frac{0,003 + f_y/E}{0,008}\right) \times \rho_b \\
 &= \left(\frac{0,003 + 444,6/200000}{0,008}\right) \times 0,0271 \\
 &= 0,177
 \end{aligned}$$

$(\rho - \rho') < \rho_{maks}$ (penampang terkendali tarik, faktor reduksi (ϕ) = 0,9)

3) Mencari nilai a dan c

$$\begin{aligned}
 K_1 &= 0,85 \times f'c \times \beta_1 \times B \\
 &= 0,85 \times 21,5 \times 0,85 \times 150 \\
 &= 2330,0625 \\
 K_2 &= A_s' \times (600 - 0,85 \times f'c) - (A_s \times F_y) \\
 &= 157,079 \times (600 - 0,85 \times f'c) - (157,079 \times 444,6) \\
 &= 21539,5446 \\
 K_3 &= -600 \times A_s' \times d_s \\
 &= -600 \times 157,079 \times 51 \\
 &= -4806636,76
 \end{aligned}$$

Diselesaikan dengan rumus abc, $c = \frac{K_2 \pm \sqrt{K_2^2 - 4K_1K_3}}{2K_1}$

$$c = \frac{21539,544 + \sqrt{21539,5446^2 - 4(2330,0625)(-4806636,76)}}{2(2330,0625)}$$

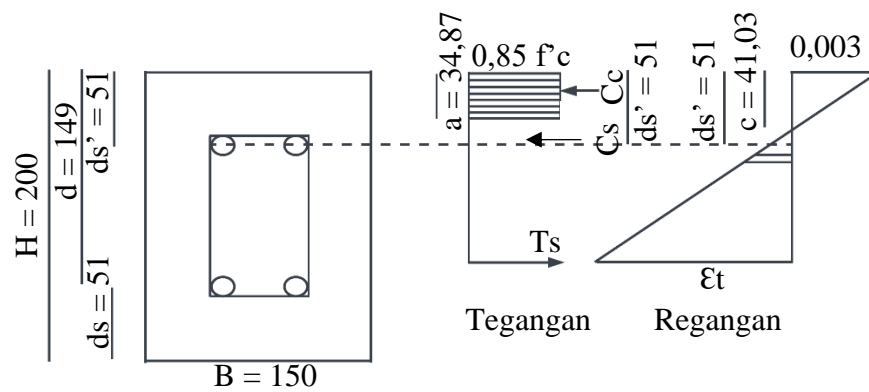
$$c = 41,03 \text{ mm}$$

$$c = \frac{21539,544 - \sqrt{21539,5446^2 - 4(2330,0625)(-4806636,76)}}{2(2330,0625)}$$

$$c = -50,27 \text{ mm}$$

diambil nilai c yang positif, maka nilai $c = 41,03$

$$a = \beta_1 \times c = 0,85 \times 41,03 = 34,87 \text{ mm}$$



Gambar 5. 36 Grafik Tegangan Regangan BJ 01

Dilihat dari Gambar 5.36 hubungan tegangan regangan yang terjadi pada BJ 01 nilai c yang terlalu dalam mengakibatkan nilai ϵ_s yang seharusnya tertekan menjadi tarik sehingga tulangan pada daerah tekan tidak signifikan pengaruhnya. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Puryanto, 2013, Bila tulangan tekan dipasang terlalu dalam dapat mengakibatkan A_s' tidak meleleh. Terlebih ekstrim nilai letak A_s' lebih dalam dari garis netralnya c , sehingga f_s' menjadi tarik, maka A_s' diabaikan. Sehingga analisis untuk momen nominal teoritis menggunakan konsep tulangan tunggal.

4) Mencari nilai a dan C_c (tulangan tunggal)

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \times F_y \\ C_c &= 0,85 \times f'_c \times a \times B \\ T_s &= C_c \\ A_s \times F_y &= 0,85 \times f'_c \times a \times B \\ a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times f'_c \times B} \\ a &= \frac{157,079 \times 444,6}{0,85 \times 21,5 \times 150} \\ a &= 25,476 \text{ mm} \\ C_c &= 0,85 \times 21,5 \times 25,476 \times 150 \\ C_c &= 69837,604 \text{ N} \end{aligned}$$

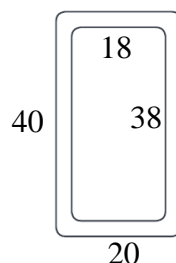
5) Mencari Momen Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \phi \times \left(C_c \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) \\ &= 0,9 \times \left(69837,604 \times \left(149 - \frac{25,476}{2} \right) \right) \\ &= 8564575,099 \text{ Nmm} \\ &= 8,564 \text{ kNm} \end{aligned}$$

b. Balok beton tulangan baja ringan (BJ 02)

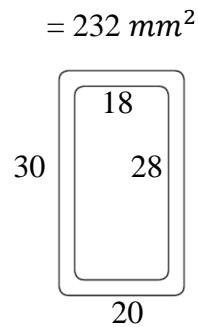
Diketahui:

Lebar balok (B)	= 150 mm
Tinggi balok (H)	= 200 mm
Selimit beton (sb)	= 40 mm
Mutu beton (F'c)	= 21,5 MPa
Mutu baja (Fy) daerah tarik	= 375,2 MPa
Modulus elastisitas (E)	= 200000 MPa
Ukuran baja ringan tekan	= b = 20 mm t = 1 mm h = 30 mm
Ukuran baja ringan tarik	= b = 20 mm t = 1 mm h = 40 mm
Diameter tul. Sengkang	= 6 mm
Tinggi titik berat tarik (ds) tarik)	= Sb + D Tul sengkang + (0,5 x h baja ringan tarik) = 40 + 6 + (0,5 x 40) = 66 mm
Tinggi titik berat tekan (ds') tekan)	= Sb + D Tul sengkang + (0,5 x h baja ringan tekan) = 40 + 6 + (0,5 x 30) = 61 mm
Tinggi efektif balok (d)	= H – ds = 200 – 66 = 134 mm



Gambar 5. 37 Luas Penampang Baja Ringan *Hollow* Uk. 4 x 2

Luas penampang tarik (As)	= n x (Lb - Lk)
	= 2 x ((20 x 40)-(18 x 38))



Gambar 5. 38 Luas Penampang Baja Ringan *Hollow* Uk. 3 x 2

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang tekan (As')} &= n \times (Lb - Lk) \\ &= 2 \times ((20 \times 30) - (18 \times 28)) \\ &= 192 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

1) Menghitung ρ dan ρ'

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{As}{Bd} = \frac{232}{150 \times 139} = 0,0111 \\ \rho' &= \frac{As'}{Bd} = \frac{192}{150 \times 139} = 0,0092 \\ (\rho - \rho') &= 0,0111 - 0,0092 \\ &= 0,0019 \end{aligned}$$

2) Periksa tulangan telah leleh atau belum

Nilai $\beta_1 = 0,85$, untuk $f'_c = 21,5 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} k &= 0,85 \times \beta_1 \times \left(\frac{f'_c}{f_y}\right) \times \left(\frac{d_s}{d}\right) \times \left(\frac{600}{600 - f_y}\right) \\ &= 0,85 \times 0,85 \times \left(\frac{21,5}{375,2}\right) \times \left(\frac{61}{139}\right) \times \left(\frac{600}{600 - 375,2}\right) \\ &= 0,054 \end{aligned}$$

$(\rho - \rho') < k$ (tulangan tekan belum leleh)

Untuk $f'_c = 21,5$ maka $\rho_b = 0,0271$

$$\begin{aligned} \rho_{maks} &= \left(\frac{0,003 + f_y/E}{0,008}\right) \times \rho_b \\ &= \left(\frac{0,003 + 375,2/200000}{0,008}\right) \times 0,0271 \\ &= 0,1789 \end{aligned}$$

$(\rho - \rho') < \rho_{maks}$ (penampang terkendali tarik, faktor reduksi (ϕ) = 0,9)

3) Mencari nilai a dan c

$$\begin{aligned} K_1 &= 0,85 \times f'_c \times \beta_1 \times B \\ &= 0,85 \times 21,5 \times 0,85 \times 150 \\ &= 2330,0625 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_2 &= A_s' \times (600 - 0,85 \times f'_c) - (A_s \times F_y) \\ &= 192 \times (600 - 0,85 \times 21,5) - (232 \times 375,2) \\ &= 24644,8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_3 &= -600 \times A_s' \times d_s \\ &= -600 \times 192 \times 61 \\ &= -7027200 \end{aligned}$$

Diselesaikan dengan rumus abc, $c = \frac{K_2 \pm \sqrt{K_2^2 - 4K_1K_3}}{2K_1}$

$$c = \frac{24644,8 + \sqrt{24644,8^2 - 4(2330,0625)(-7320000)}}{2(2330,0625)}$$

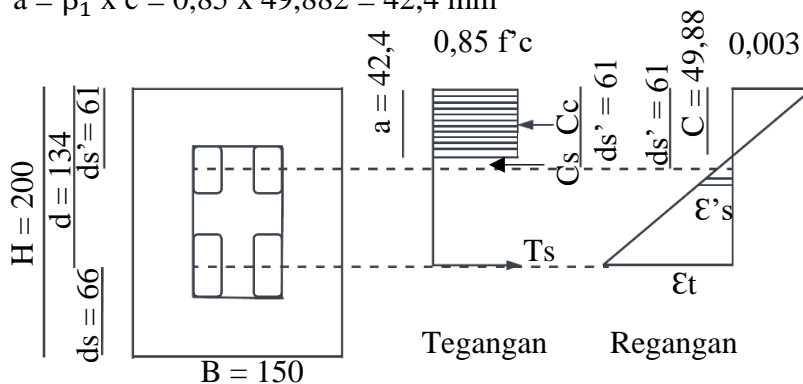
$$c = 49,882 \text{ mm}$$

$$c = \frac{26289,2 - \sqrt{26289,2^2 - 4(2330,0625)(-7027200)}}{2(2330,0625)}$$

$$c = -60,459 \text{ mm}$$

diambil nilai c yang positif, maka nilai $c = 49,882 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \times c = 0,85 \times 49,882 = 42,4 \text{ mm}$$



Gambar 5. 39 grafik hubungan tegangan-regangan BJ 02

Dilihat dari gambar hubungan tegangan regangan nilai c yang terlalu dalam mengakibatkan nilai ϵ_s menjadi tarik sehingga tulangan pada daerah tekan tidak signifikan pengaruhnya. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Puryanto, 2013, Bila tulangan tekan dipasang terlalu dalam dapat mengakibatkan A_s' tidak meleleh. Terlebih ekstrim nilai letak A_s' lebih dalam dari garis netralnya c , sehingga f_s' menjadi tarik, maka A_s' diabaikan. Sehingga analisis untuk momen nominal teoritis menggunakan konsep tulangan tunggal.

4) Mencari a dan C_c (tulangan tunggal)

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \times F_y \\ C_c &= 0,85 \times f'_c \times a \times B \\ T_s &= C_c \\ A_s \times F_y &= 0,85 \times f'_c \times a \times B \\ a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times f'_c \times B} \\ a &= \frac{232 \times 375,2}{0,85 \times 21,5 \times 150} \\ a &= 31,754 \text{ mm} \\ C_c &= 0,85 \times 21,5 \times 31,754 \times 150 \\ C_c &= 87045,67 \text{ N} \end{aligned}$$

5) Mencari Momen Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \phi \times \left(C_c \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) \\ &= 0,9 \times \left(87045,67 \times \left(139 - \frac{31,754}{2} \right) \right) \\ &= 9645579 \text{ Nmm} \\ &= 9,64 \text{ kNm} \end{aligned}$$

5.8 Perbandingan Momen Lentur Eksperimen dan Teoritis

Perbandingan Momen Lentur eksperimen dan teoritis balok bertulang baja dan balok bertulang baja ringan dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5. 13 Perbandingan Momen Lentur Eksperimen dan Teoritis

Kode	Beban (kN)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Momen Nomnal Eksperimen (kNm)	Momen Lentur Eksperimen (kNm)	Momen Lentur Teoritis (kNm)
BJ 01-1	32,079	1422	150	200	7,603	7,886	8,564
BJ 01-2	32,894	1422	150	200	7,796		
BJ 01-3	35	1422	150	200	8,259		
BJ 02-1	36,516	1422	150	200	8,654	9,726	9,64
BJ 02-2	43,196	1422	150	200	10,238		
BJ 02-3	43,4	1422	150	200	10,286		

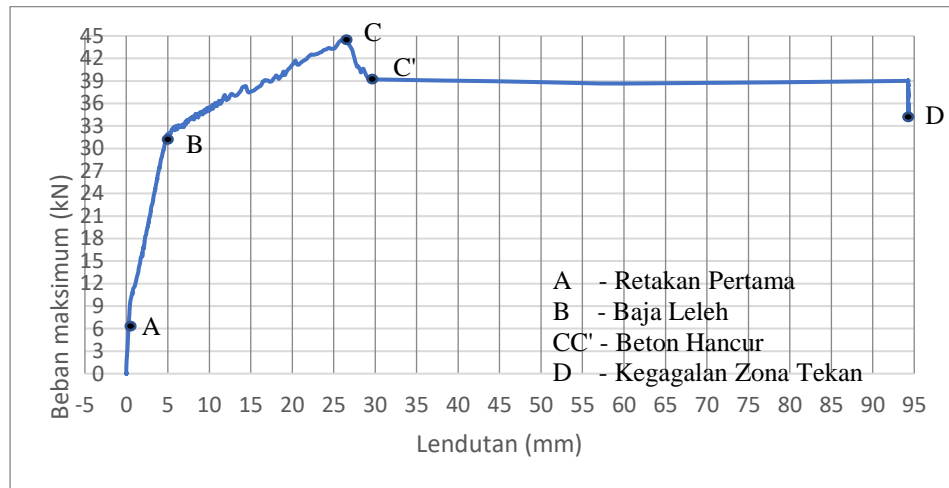
Dilihat pada tabel 5.13 perbedaan momen lentur balok bertulang baja (BJ 01) mempunyai momen lentur teoritis yang lebih tinggi sebesar 0,678 kNm atau 7,923%, hal ini bisa terjadi karena perbedaan asumsi diameter baja yang digunakan. Sedangkan perbedaan momen lentur balok bertulang baja ringan (BJ 02) mempunyai momen lentur teoritis yang lebih rendah sebesar 0,08 kNm atau 0,82%, hal ini bisa terjadi karena pada kondisi aktual baja ringan diisi mortar sehingga baja ringan dapat menerima beban lebih besar. Tabel 5.13 juga menunjukkan bahwa momen lentur balok bertulang baja ringan baik eksperimen maupun teoritis mengalami peningkatan terhadap balok bertulang baja. Hal ini dapat dikarenakan beberapa faktor misalnya, perbedaan luas tulangan yang signifikan antara baja tulangan dan baja ringan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa balok dengan tulangan baja ringan dapat meningkatkan momen lentur.

5.9 Analisis Lendutan Balok Bertulang Baja Ringan (Hollow) dan Baja Tulangan

Data yang diperoleh dari hasil pengujian menghasilkan nilai lendutan yang terjadi. Hal ini digunakan untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan baja ringan pada balok. Berikut analisis terkait Lendutan yang terjadi pada balok.

a. Balok beton bertulang baja (BJ 01-1)

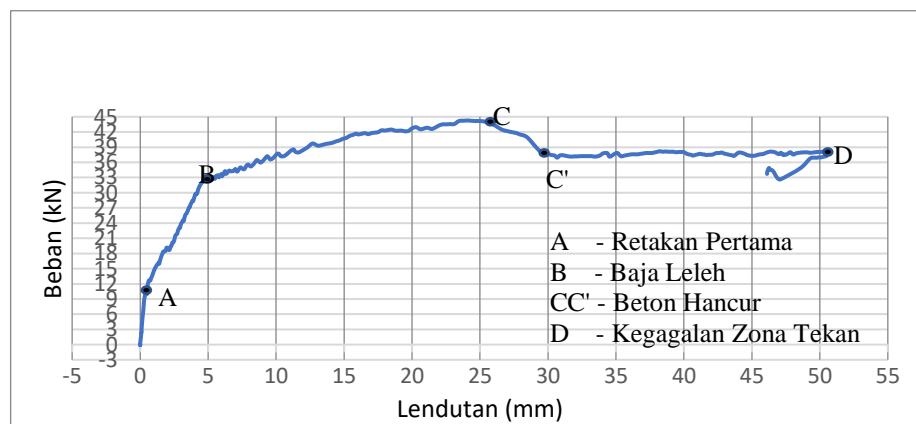
Pada benda uji BJ 01-1 terjadi lendutan pada saat retak pertama adalah sebesar 1,032 mm dengan beban 11,73 kN. Lendutan sebesar 26,2 mm pada beban maksimum 44,472 kN. Berikut merupakan grafik retakan pertama hingga keruntuhan balok beton bertulang yang dapat dilihat pada Gambar 5.24.



Gambar 5. 40 Grafik Retakan Pertama Hingga Kehancuran Balok Beton BJ 01-1

b. Balok beton bertulang baja (BJ 01-2)

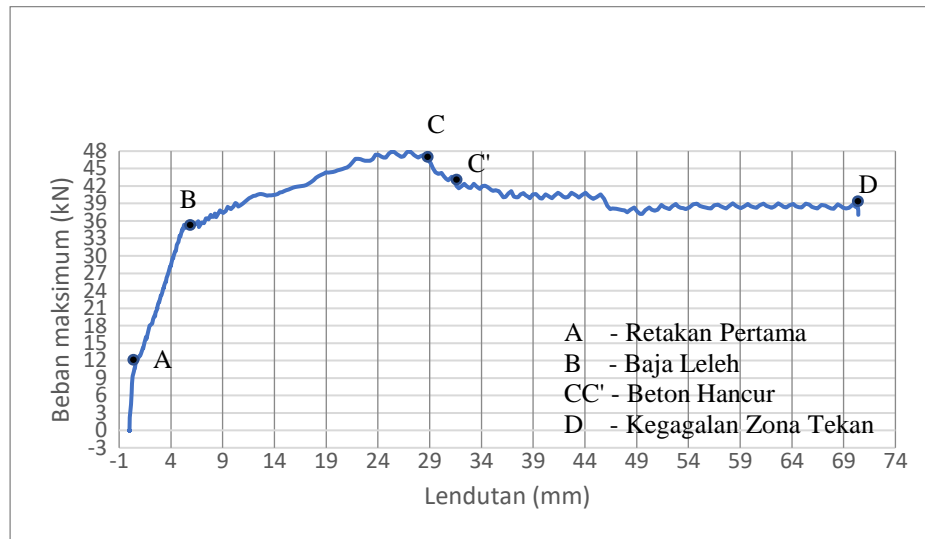
Pada benda uji BJ 01-2 terjadi lendutan pada saat retak pertama adalah sebesar 0,870 mm dengan beban 12,24 kN. Lendutan sebesar 24,075 mm pada beban maksimum 44,269 kN. Berikut merupakan grafik retakan pertama hingga keruntuhan balok beton bertulang yang dapat dilihat pada Gambar 5.25.



Gambar 5. 41 Grafik Retakan Pertama Hingga Kehancuran Balok Beton BJ 01-2

c. Balok beton bertulang baja (BJ 01-3)

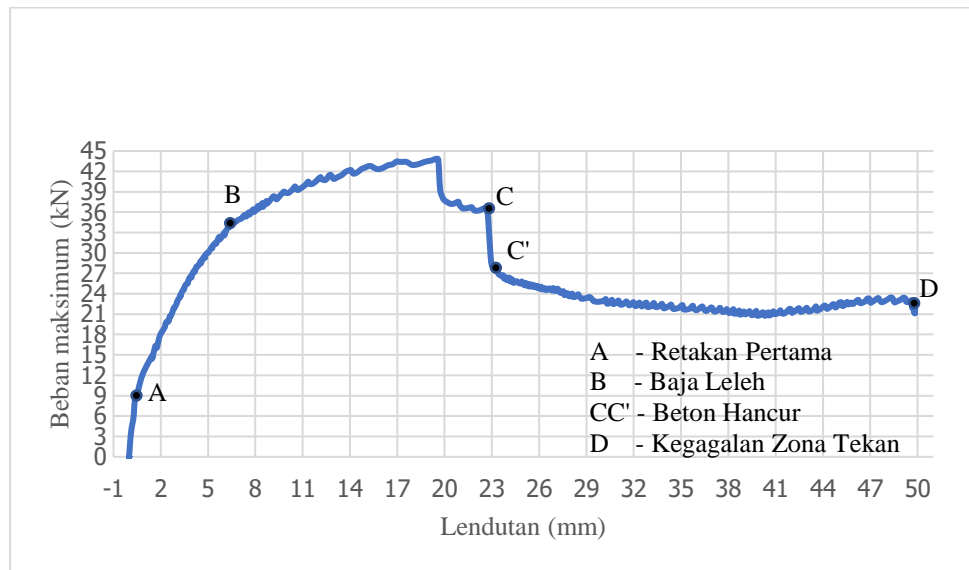
Pada benda uji BJ 01-3 terjadi lendutan pada saat retak pertama adalah sebesar 1,023 mm dengan beban 12,8 kN. Lendutan sebesar 27,084 mm pada beban maksimum 47,9 kN. Berikut merupakan grafik retakan pertama hingga keruntuhan balok beton bertulang yang dapat dilihat pada Gambar 5.26.



Gambar 5. 42 Grafik Retakan Pertama Hingga Kehancuran Balok Beton BJ 01-3

d. Balok beton bertulang baja ringan (BJ 02-1)

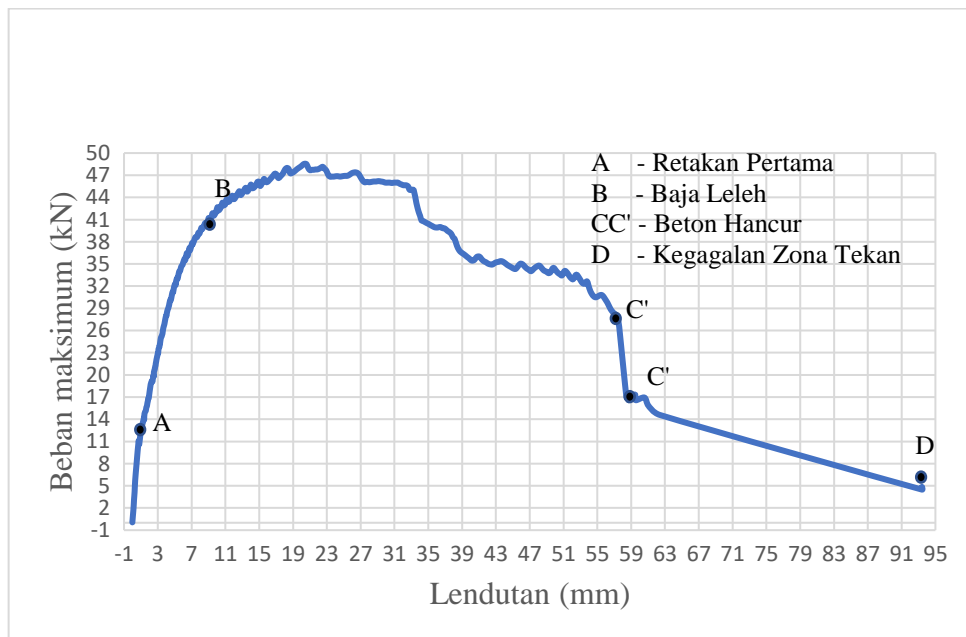
Pada benda uji BJ 02-1 terjadi lendutan pada saat retak pertama adalah sebesar 0,516 mm dengan beban 9,828 kN. Lendutan sebesar 19,4 mm pada beban maksimum 43,809 kN. Berikut merupakan grafik retakan pertama hingga keruntuhan balok beton bertulang yang dapat dilihat pada Gambar 5.27.



Gambar 5. 43 Grafik Retakan Pertama Hingga Kehancuran Balok Beton BJ 02-1

e. Balok beton bertulang baja ringan (BJ 02-2)

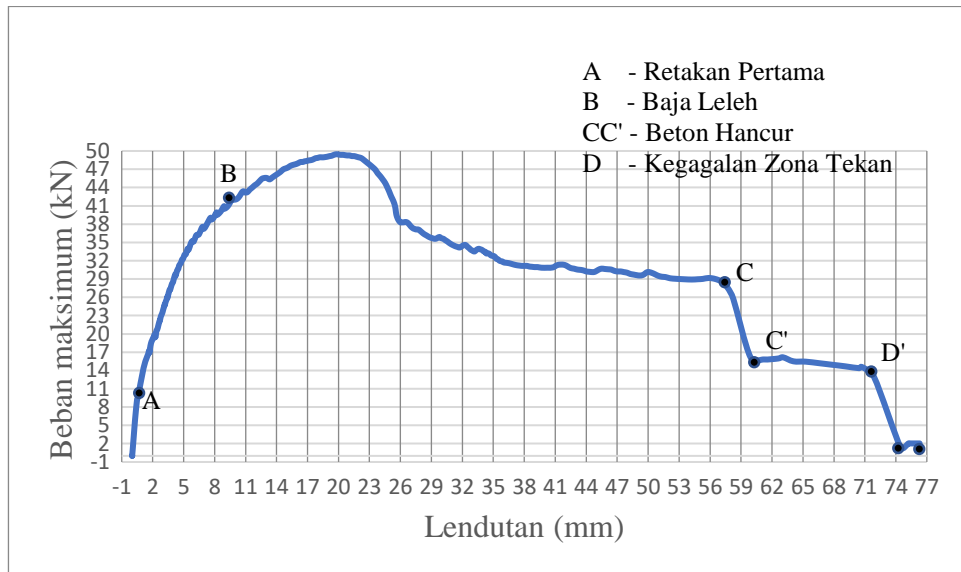
Pada benda uji BJ 02-2 terjadi lendutan pada saat retak pertama adalah sebesar 0,73 mm dengan beban 11,07 kN. Lendutan sebesar 18,485 mm pada beban maksimum 48,552 kN. Berikut merupakan grafik retakan pertama hingga keruntuhan balok beton bertulang yang dapat dilihat pada Gambar 5.28.



Gambar 5. 44 Grafik Retakan Pertama Hingga Kehancuran Balok Beton BJ 02-2

f. Balok beton bertulang baja ringan (BJ 02-3)

BJ 02-3 terjadi lendutan pada saat retak pertama adalah sebesar 0,555 mm dengan beban 9,537 kN. Lendutan sebesar 19,79 mm pada beban maksimum 49,47 kN. Berikut merupakan grafik dapat dilihat pada Gambar 5.29.

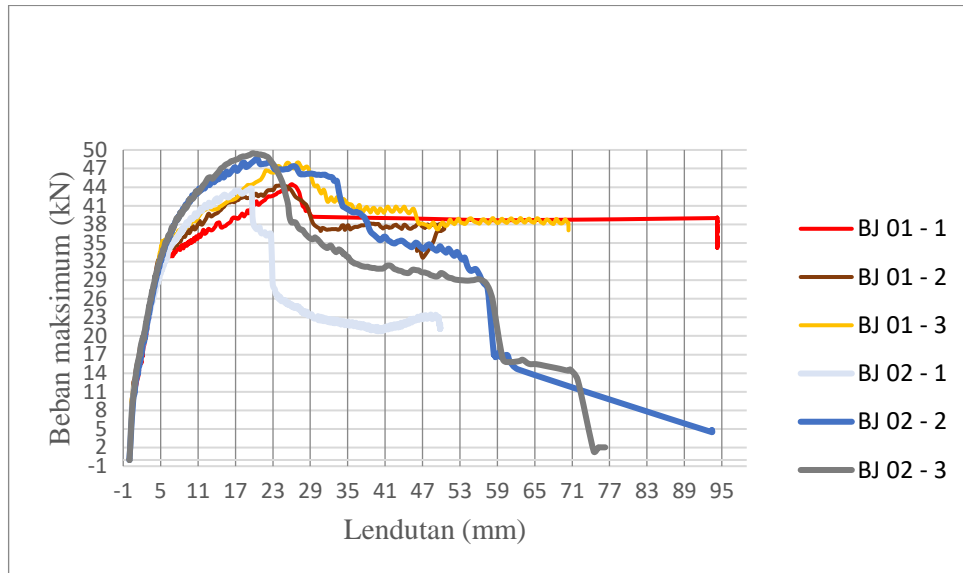


Gambar 5. 45 Grafik Retakan Pertama Hingga Kehancuran Balok Beton BJ 02-3

Rekapitulasi lendutan balok bertulang baja maupun tulangan baja ringan (*Hollow*) dapat dilihat pada tabel 5.13 dan Gambar 5.30.

Tabel 5. 14 Hasil Rekapitulasi Lendutan Balok

Kode	Beban Pada Retak Pertama (kN)	Lendutan Retak Pertama (mm)	Beban Maksimum (kN)	Lendutan Pada Beban <i>ultimate</i> (mm)	Rerata Kapasitas Lendutan Retak Pertama (mm)	Rerata Lendutan Pada Beban <i>ultimate</i> (mm)
BJ 01-1	11,271	0,808	44,472	26,22	0,704	25,793
BJ 01-2	10,66	0,497	44,268	24,075		
BJ 01-3	12,2	0,808	47,991	27,084		
BJ 02-1	9,282	0,516	43,809	19,4	0,406	19,225
BJ 02-2	11,07	0,73	48,552	18,485		
BJ 02-3	9,282	0,487	49,470	19,79		



Gambar 5. 46 Grafik Perbandingan BJ 01 - BJ 02

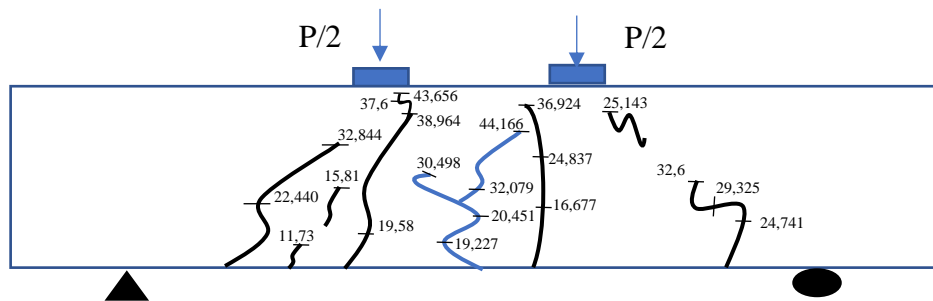
Tabel 5.14 Menunjukkan bahwa lendutan pada saat retak pertama dan maksimum terjadi perilaku yang serupa antara tulangan baja ringan dan baja tulangan, dimana baja ringan memiliki rata rata lendutan sebesar 0,406 mm saat retak pertama, dan baja tulangan sebesar 0,704 mm. Pada saat retak pertama nilai lendutan baja ringan lebih rendah sebesar 0,298 mm atau sebesar 42,33 %. Sedangkan pada beban *ultimate* baja ringan memiliki rata rata lendutan sebesar 19,225 mm, dan baja tulangan sebesar 25,793 mm. Pada saat beban *ultimate* nilai lendutan baja ringan lebih rendah sebesar 6,568 mm atau sebesar 25,46 %. Hal ini menunjukkan bahwa tulangan menggunakan baja ringan berisi mortar dapat menurunkan lendutan.

5.10 Analisis Pola Retak dan Keruntuhan Balok Bertulang Baja Ringan (Hollow) dan Baja Tulangan

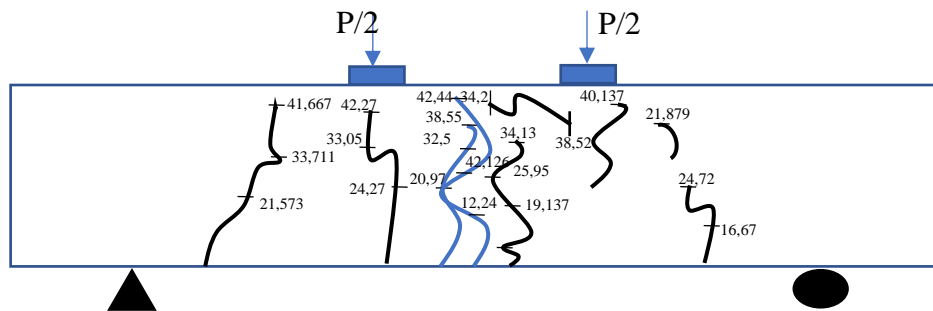
Berikut merupakan hasil pengamatan pada kegagalan balok beton dengan baja tulangan dan balok beton baja ringan (*hollow*).

a. Balok beton bertulang baja

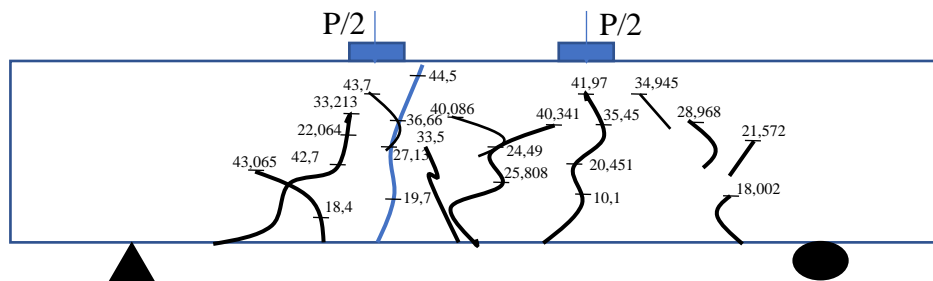
Balok beton tulangan baja Masing mengalami runtuh setelah menerima beban sebesar 44,47 kN pada BJ 01-1 dengan lendutan sebesar 26,1 mm, 44,26 kN pada BJ 01-2 dengan lendutan sebesar 24,075 mm, 47,91 kN pada BJ 01-3 dengan lendutan sebesar 27,084 mm. Ketiga sampel BJ 01 mengalami kegagalan pada daerah lapangan yang diawali retakan pada bagian bawah hingga melebar ke atas sebelum akhirnya runtuh. Berikut merupakan pola retak yang terjadi pada BJ 01 yang dapat dilihat pada gambar 5.31 s.d. 5.33.



Gambar 5. 47 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 01-1



Gambar 5. 48 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 01-2



Gambar 5. 49 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 01-3

b. Balok beton bertulang baja ringan

BJ 02 – 1 mengalami kegagalan pada daerah tumpuan sisi kanan. Kegagalan ini ditandai retakan di sisi bawah lalu vertikal. Balok tersebut runtuh setelah menerima beban 43,809 kN dengan lendutan 19,4 mm. Setelah diperiksa bagian tulangnya, terungkap bahwa Baja ringan belum putus yang dapat dilihat pada Gambar 5.34. Hal ini mengindikasikan kemungkinan adanya retak lekatan atau slip antara baja ringan dan ikatan beton. Berikut merupakan pola keruntuhan yang terjadi pada BJ 02-1 yang dapat dilihat pada Gambar 5.37.



Gambar 5. 50 Benda uji BJ 02 -1 setelah Uji Lentur

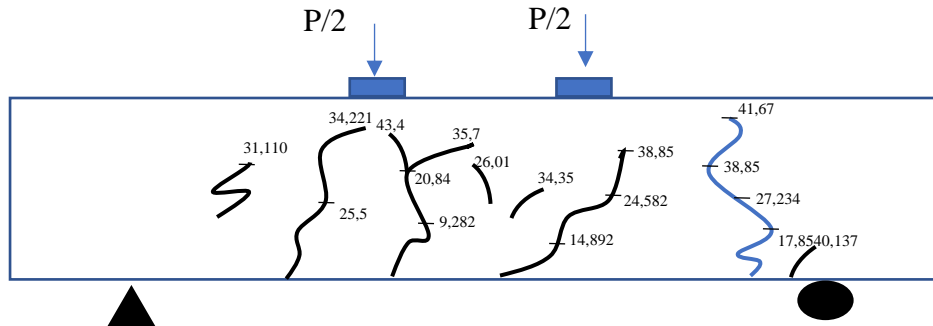
BJ 02 – 2 dan BJ 02 – 3 tersebut memiliki pola retakan dan kondisi yang serupa dengan keadaan baja ringan putus yang dapat dilihat pada Gambar 5.25 dan 5.26 setelah menerima beban 48,5 kN pada BJ 02 – 2 dengan deformasi 20,36 mm, dan 49,47 kN pada BJ 02 – 3 dengan deformasi sebesar 19,79. Seluruh retakan yang terjadi merupakan retak lentur. Berikut merupakan pola keruntuhan yang terjadi pada BJ 02-2 dan BJ 02-3 yang dapat dilihat pada Gambar 5.38 s.d. Gambar 5.39.



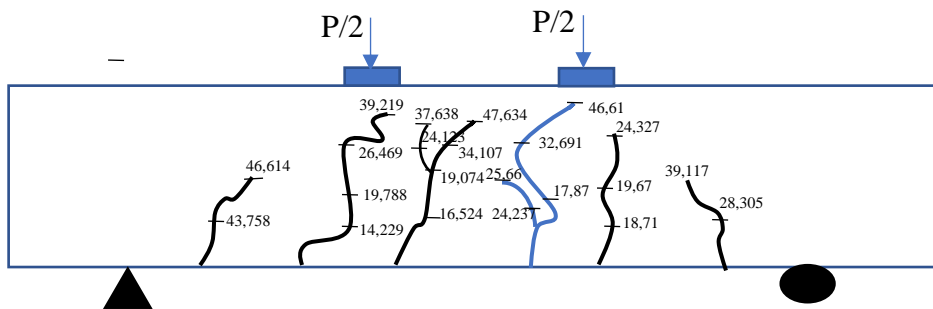
Gambar 5. 51 Benda uji BJ 02 -2 setelah Uji Lentur



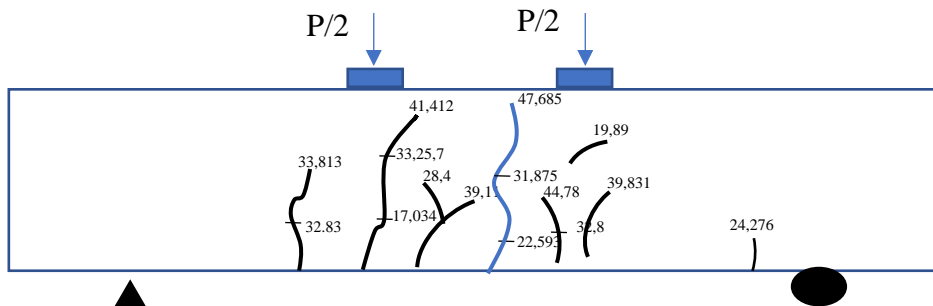
Gambar 5. 52 Benda Uji BJ 02 -3 Setelah Uji Lentur



Gambar 5. 53 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 02-1



Gambar 5. 54 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 02-2



Gambar 5. 55 Pola Keruntuhan Benda Uji 02-3

Berdasarkan Gambar 5.45 hingga Gambar 5.53, pada fase awal pembebanan hingga mencapai batas leleh (zona elastis), retakan muncul secara perlahan pada daerah lapangan balok. Bagian yang muncul terlebih dahulu dimulai dari wilayah tarik dan bergerak ke wilayah tekan. Setelah mencapai batas leleh hingga fase ultimate (zona plastis), peningkatan pembebanan pada balok tidak terlalu signifikan, tetapi lendutan yang dialami oleh balok terus bertambah, hal ini

menunjukkan bahwa tulangan telah leleh dan balok bersifat daktail. Setelah pembebanan mencapai ultimate, balok mengalami keruntuhan secara langsung dalam bentuk lentur, yang ditandai dengan rusaknya beton pada daerah lapangan beton. Hal ini juga mengindikasikan bahwa kondisi balok bertulang baja dan baja ringan bersifat under-reinforced karena terdapat beban leleh, dimana pembebanan tidak mengalami peningkatan yang signifikan, namun lendutan terus bertambah. Tetapi terdapat perbedaan pada BJ 02 – 1 yang dapat dilihat pada gambar 5.51 yang mengalami pola keruntuhan lekatan, karena balok runtuh pada daerah tumpuan. Hal ini bisa terjadi karena baja ringan tidak mempunyai pengait untuk beton. Secara umum balok bertulang baja dan baja ringan mempunyai pola retak dan keruntuhan yang sama, tetapi balok bertulang baja ringan mempunyai kemungkinan untuk retak lekatan.

5.11 Analisis Kekakuan Balok Bertulang Baja Ringan dan Baja Tulangan

Kekakuan atau *stiffness* balok adalah perbandingan antara beban yang dialami balok baik pada retak pertama dan beban ultimate dibandingkan dengan lendutannya. Berikut merupakan rincian kekakuan balok beton bertulang.

1. BJ 01 – 1

a. Kondisi saat retak pertama

$$\begin{aligned} \text{Beban} &= 11,271 \text{ kN} \\ \text{Lendutan} &= 0,808 \text{ mm} \\ \text{Kekakuan} &= 11,271/0,808 \\ &= 13,9493 \text{ kN/mm} \end{aligned}$$

b. Kondisi saat *ultimate*

$$\begin{aligned} \text{Beban} &= 44,472 \text{ kN} \\ \text{Lendutan} &= 26,22 \text{ mm} \\ \text{Kekakuan} &= 44,472/26,22 \\ &= 1,696 \text{ kN/mm} \end{aligned}$$

2. BJ 01 – 2

a. Kondisi saat retak pertama

$$\text{Beban} = 9,282 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Lendutan} &= 0,516 \text{ mm} \\ \text{Kekakuan} &= 12,240/0,870 \\ &= 14,069 \text{ kN/mm} \end{aligned}$$

b. Kondisi saat *ultimate*

$$\begin{aligned} \text{Beban} &= 44,268 \text{ kN} \\ \text{Lendutan} &= 24,075 \text{ mm} \\ \text{Kekakuan} &= 55,268/24,075 \\ &= 1,8 \text{ kN/mm} \end{aligned}$$

Perhitungan sampel lain pada balok baja tulangan (BJ 01) dan baja ringan (BJ 02) dianalisis dengan cara yang serupa. Hasil rekapitulasi perhitungan nilai kekakuan balok dapat dilihat pada tabel 5.14 berikut ini.

Tabel 5. 15 Hasil Rekapitulasi Kekakuan Balok

Balok	Retak pertama		Kekakuan	Rata-rata kekakuan (kN/mm)	Kondisi <i>Ultimate</i>		Kekakuan	Rata-rata kekakuan (kN/mm)
	Beban	Lendutan			Beban	Lendutan		
Bj 01 - 1	11,271	0,808	13,949	16,832	44,47	26,22	1,696	1,769
Bj 01 - 2	10,66	0,497	21,449		44,27	24,08	1,839	
Bj 01 - 3	12,2	0,808	15,099		47,99	27,08	1,772	
Bj 02 - 1	9,282	0,516	17,988	17,404	43,81	19,4	2,258	2,381
Bj 02 - 2	11,07	0,73	15,164		48,55	20,36	2,384	
Bj 02 - 3	9,282	0,487	19,059		49,47	19,79	2,5	

Berdasarkan tabel 5.15 dapat disimpulkan bahwa balok beton dengan tulangan baja ringan mengalami kenaikan nilai kekakuan baik pada saat retak pertama maupun pada kondisi *ultimate*. Temuan mengenai kapasitas lendutan maksimum dan kekakuan dalam penelitian ini sejalan dengan pandangan yang diungkapkan Puluhlawa (2011), yang menyatakan jika balok dengan kekakuan yang rendah maka lendutan yang terjadi akan meningkat begitu juga sebaliknya.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil dan analisis penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan berdasarkan pembahasan pada bab sebelumnya disimpulkan bahwa

1. Berdasarkan analisis momen lentur balok bertulang baja (BJ 01) mempunyai momen lentur teoritis yang lebih tinggi sebesar 0,678 kNm atau 7,923%, hal ini bisa terjadi karena perbedaan asumsi diameter baja yang digunakan. Sedangkan perbedaan momen lentur balok bertulang baja ringan (BJ 02) mempunyai momen lentur teoritis yang lebih rendah sebesar 0,08 kNm atau 0,08%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perhitungan antara momen nominal teoritis dan eksperimen telah sesuai karena hanya mempunyai selisih yang relatif kecil, dan pada BJ 02 nilai kuat lentur eksperimennya lebih besar daripada kuat lentur teoritis karena pada baja ringan yang digunakan diisi oleh mortar.
2. Berdasarkan analisis eksperimen momen nominal eksperimen pada sampel beton bertulang baja yaitu, BJ 01 diperoleh rata rata sebesar 7,886 kNm, BJ 02 diperoleh rata rata sebesar 9,726 kNm. Hal ini menunjukkan bahwa balok bertulang baja ringan meningkatkan momen nominal sebesar 1,84 kNm atau 18,91% dari balok tulangan baja. Hal ini menunjukkan bahwa baja ringan dapat meningkatkan momen lentur dari baja tulangan.
3. Penggunaan baja ringan menghasilkan rata rata lendutan maksimal sebesar 19,853 mm, sedangkan balok beton dengan baja menghasilkan lendutan sebesar 25,753 mm. Sehingga, baja ringan menurunkan kapasitas lendutan maksimum sebesar 23% atau 5,9 mm. Hal ini menunjukkan baja ringan menurunkan lendutan daripada baja tulangan.
4. Nilai kekakuan yang dialami pada balok bertulang baja (BJ 01) pada retak pertama sebesar 16,832 kN/mm, sedangkan pada balok bertulang baja ringan

(BJ 02) sebesar 17,404 kN/mm. Pada kondisi beban *ultimate* nilai kekakuan yang terjadi pada balok bertulang baja (BJ 01) sebesar 1,772 kN/mm, sedangkan pada balok bertulang baja ringan (BJ 02) sebesar 2,381 kN/mm. Dengan demikian menunjukkan bahwa balok dengan tulangan baja ringan memiliki nilai kekakuan yang lebih tinggi baik dalam kondisi elastis (pada retak pertama) maupun kondisi plastis (beban *ultimate*).

6.2 Saran

Dari kesimpulan tersebut, agar dapat mencapai hasil penelitian yang lebih optimal, beberapa saran diperlukan. Berikut adalah saran untuk penelitian selanjutnya.

1. Penelitian berikutnya mengenai uji tekan silinder, disarankan untuk menggunakan dial guna mengetahui nilai modulus elastis pada beton. Hal ini agar karakteristik beton dapat diketahui dengan jelas.
2. Dalam penelitian berikutnya, disarankan untuk memanfaatkan *straingauge* guna mengumpulkan data regangan pada tulangan. Pemasangan dan penempatan *straingauge* perlu diperhatikan secara cermat, karena jika terjadi kesalahan pemasangan maka hasil yang diperoleh tidak akurat. Pemasangan harus dilakukan dengan hati-hati agar regangan dapat terbaca dengan baik saat pengujian.


DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, A. 2010. Balok dan pelat beton bertulang. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Firmansyah, A. Y. 2011. Rancang Bangun Aplikasi Rencana Anggaran Biaya Dalam Pembangunan Rumah. Surabaya.
- Fitriani, D., Kusdian, R.D. and Bakar, B.A., 2021. Kajian Kaut Tekan Beton Substitusi Agregat Halus Dari Limbah Pemotongan Batu Marmer dan Agregat Kasar dari Limbah Pemotongan Batu Kapur. *Sistem Infrastruktur Teknik Sipil (SIMTEKS)*, 1(1), pp.89-98.
- Irwan, I., Zulkifli, Z., & Nurlaili, N. 2021. Pengendalian Korosi Baja Karbon Rendah Dengan Menggunakan Inhibitor Korosi Monosodium Glutamat Dalam Lingkungan Crude Oil Pada Sistem Aliran Tersirkulasi. In *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe* (Vol. 5, No. 1, pp. 77-80).
- Kusumastuti, S., Supatmi, S., & Sastra, P. 2007. Pengaruh board diversity terhadap nilai perusahaan dalam perspektif corporate governance. *Jurnal Akuntansi dan Keuangan*, 9(2), 88-98.
- Nuryani, T. (2005). Pengaruh Rasio Tulangan Pada Berbagai Mutu Beton Terhadap Penguatan Tarik Tulangan Baja Beton Bertulang. Tesis
- Pramesti, H.R. and Naibaho, A., 2022. Efisiensi Penggunaan Limbah Batu Marmer (BROKOL) Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar pada Mix Design Beton. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK)*, 3(4), pp.1-6.
- Puluhulawa, I. 2011. Kapasitas Lentur Perkuatan Pelat Beton Bertulang Menggunakan Kabel Baja dan Mortar. Yogyakarta: Pascasarjana Universitas Gajah Mada.
- Puryanto, P., 2013. Peranan Tulangan Tekan Pada Balok Terlentur Tulangan Rangkapuntuk Membangkitkan Momen Nominal. *PILAR*, 9(2).
- Putra, A. E. 2017. Pemanfaatan Serat Aluminium Dari Usaha Mikro Menengah Di Kec. Tampan Sebagai Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton (*Doctoral dissertation*, Universitas Islam Riau).

- Rizky Fajar Pratama, S. P. 2016. Analisis Kekakuan Struktur Balok Beton Bertulang Dengan Lubang Hollow Core Pada Tengah Balok. Malang: Universitas brawijaya.
- Royani, A. 2020. Pengaruh Suhu Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Rendah Dalam Media Air Laut. *Jurnal Simetrik*, 10(2), 344-349.
- Sanapang, C., Sumajouw, M. D., Pandaleke, R., & Dapas, S. O. 2013. Analisa lendutan pada struktur beton bertulang terhadap waktu (time-dependent). *jurnal sipil statik*, 1(3)
- Setiawan, A. 2008. Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD. Erlangga.
- SNI 07-2529-1991. Metode Pengujian Kuat Tarik baja Beton.
- SNI 03-2834. 2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-2834. 2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1969. 2016. Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1970. 2016. Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1974. 2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 2847. 2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 4154. 2014. Metode Uji Kekuatan Lentur Beton (menggunakan balok sederhana dengan beban terpusat di tengah bentang. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 SURAT PERIZINAN LABORATORIUM



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Nomor : 190/Sek. Prodi PSTS/20/TA/XI/2023
Hal : Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium

Kepada Yth:
**KEPALA LABORATORIUM MEKANIKA REKAYASA DAN STRUKTUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Assalamu'alaikum Wr.Wb.


Yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : RAKHA CITRA PERMANA ADINATA
NIM : 19511221
JUDUL TUGAS AKHIR : PENGARUH PENGGUNAAN BAJA RINGAN SEBAGAI BAHAN
PENGGANTI BAJA TULANGAN TERHADAP KUAT LENTUR BETON
BERTULANG
DOSEN PEMBIMBING : ELVIS SAPUTRA, S.T., M.T.

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 Mekanika Rekayasa dan Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia guna mendukung penyelesaian penyusunan Laporan Tugas Akhir.

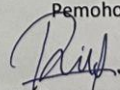
Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.




Sekretaris Program Teknik Sipil – Program Sarjana,
DINIA ANGGRAHENI, S.T., M. ENG

Yogyakarta, 1 November 2023

Pemohon

RAKHA CITRA PERMANA ADINATA
NIM. 19511221

Gambar L-1. 1 Surat Izin Pemakaian Lab. Mekanika Rekayasa dan Struktur


**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
 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

Nomor : 115/Sek. Prodi PSTS/20/TA/XII/2023
 Hal : **Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium**

Kepada Yth:
**KEPALA LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,

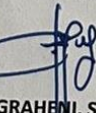
Yang bertanda tangan dibawah ini:

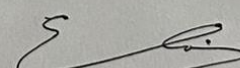
NAMA : RAKHA CITRA PERMANA ADINATA
 NIM : 19511221
 JUDUL TUGAS AKHIR : **PENGARUH PENGGUNAAN BAJA RINGAN SEBAGAI BAHAN PENGGANTI
 BAJA TULANGAN TERHADAP KUAT LENTUR BETON**

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 FTSP UII guna mendukung penyelesaian penyusunan Laporan Tugas Akhir.

Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Sekretaris Program Teknik Sipil – Program Sarjana,

DINIA ANGGRAENI, S.T., M. ENG

Yogyakarta, 7 Desember 2023
 Dosen Pembimbing Tugas Akhir,

ELVIS SAPUTRA, S.T., M.T.

Gambar L-1. 2 Surat Izin Pemakaian Lab. Bahan Konstruksi Teknik

LAMPIRAN 2 ALAT DAN BAHAN**Gambar L-2. 1 Ember****Gambar L-2. 2 Kerucut Abrams**

Gambar L-2. 3 Mixer Concrete



Gambar L-2. 4 Oven



Gambar L-2. 5 Palu Karet



Gambar L-2. 6 Penggaris



Gambar L-2. 7 Saringan Agregat



Gambar L-2. 8 Sekop



Gambar L-2. 9 Timbangan Ohaus



Gambar L-2. 10 Cetakan Silinder



Gambar L-2. 11 Tongkat Penumbuk



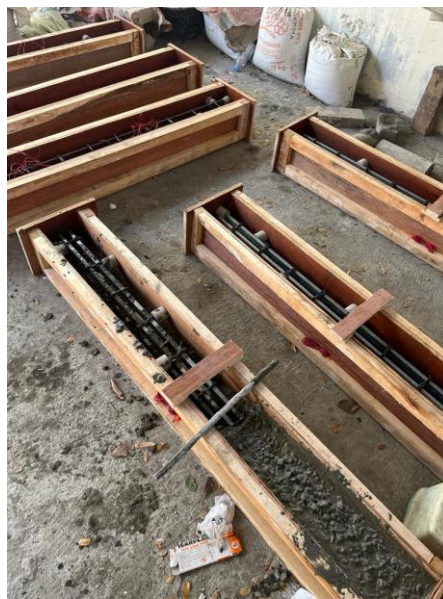
Gambar L-2. 12 Tulangan Bj 01 & Bj 02



Gambar L-2. 13 Cetakan Balok



Gambar L-2. 14 Mesin Uji Tekan

LAMPIRAN 3 DOKUMENTASI PEMBUATAN SAMPEL**Gambar L-3. 1 Pemasangan Tulangan Pada Cetakan****Gambar L-3. 2 Pengisian Cetakan Oleh Beton Segar**



Gambar L-3. 3 Pengecekan Nilai Slump



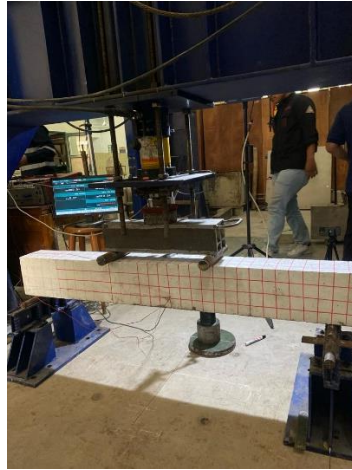
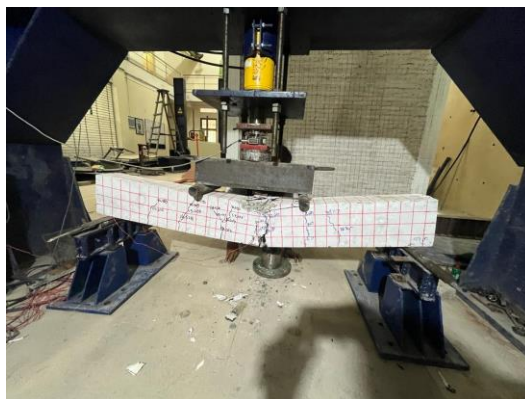
Gambar L-3. 4 Cetakan Telah Terisi Beton



Gambar L-3. 5 Pemberian Cat Pada Sampel



Gambar L-3. 6 Sampel Diberi Garis Kotak Dimensi 5 cm

LAMPIRAN 4 DOKUMENTASI PENGUJIAN SAMPEL**Gambar L-4. 1 Peletakan Sampel Pada Tumpuan****Gambar L-4. 2 Pengujian Sampel****Gambar L-4. 3 Sampel Setelah Diuji**

LAMPIRAN 5 HASIL PENGUJIAN SAMPEL

Tabel L-5. 1 Hasil Uji BJ 01-1

BJ 01 -1			
Date Time	Beban (Kn)	LVDT 1	LVDT 2
27/10/2023 10:37	0.51	-0.01	0
27/10/2023 10:37	1.53	0.019	0.01
27/10/2023 10:37	2.193	0.058	0.01
27/10/2023 10:37	2.754	0.097	0.02
27/10/2023 10:37	3.264	0.127	0.029
27/10/2023 10:37	15.759	1.919	1.818
27/10/2023 10:37	15.657	1.919	1.828
27/10/2023 10:37	15.606	1.919	1.828
27/10/2023 10:37	15.759	1.928	1.906
27/10/2023 10:37	16.779	2.016	1.965
27/10/2023 10:37	16.932	2.074	2.004
27/10/2023 10:37	16.779	2.104	2.023
27/10/2023 10:37	16.677	2.104	2.033
27/10/2023 10:37	16.626	2.094	2.033
.			
.			
.			
27/10/2023 10:42	42.84	23.51	23.429
27/10/2023 10:42	42.993	23.656	23.683
27/10/2023 10:42	43.146	23.861	23.81
27/10/2023 10:42	43.197	24.085	24.113
27/10/2023 10:42	43.35	24.289	24.279
27/10/2023 10:42	43.401	24.445	24.504
27/10/2023 10:42	43.299	24.62	24.739
27/10/2023 10:42	43.299	24.825	24.983
27/10/2023 10:42	43.299	25.039	25.227
27/10/2023 10:42	43.503	25.234	25.52
27/10/2023 10:42	43.86	25.448	25.735
27/10/2023 10:42	44.217	25.672	26.117
27/10/2023 10:42	44.421	25.906	26.4
27/10/2023 10:42	44.472	26.1	26.684

Tabel L-5. 2 Hasil Uji BJ 01-2

BJ 01 -1			
Date Time	Beban (Kn)	LVDT 1	LVDT 2
30/10/2023 11:49	0	0	0
30/10/2023 11:49	0.612	0.019	0
30/10/2023 11:49	1.683	0.068	0.039
30/10/2023 11:49	2.142	0.078	0.205
30/10/2023 11:49	2.448	0.097	0.215
30/10/2023 11:49	2.448	0.088	0.215
30/10/2023 11:49	2.499	0.097	0.215
30/10/2023 11:49	3.417	0.117	0.215
30/10/2023 11:49	5.049	0.166	0.215
30/10/2023 11:49	7.089	0.243	0.235
30/10/2023 11:49	8.466	0.282	0.254
30/10/2023 11:49	9.231	0.321	0.274
30/10/2023 11:49	9.843	0.37	0.313
30/10/2023 11:49	9.996	0.497	0.508
.			
.			
.			
30/10/2023 11:52	42.381	26.695	25.98
30/10/2023 11:52	42.738	26.422	25.726
30/10/2023 11:52	43.248	21.961	21.503
30/10/2023 11:52	43.248	26.12	25.501
30/10/2023 11:52	43.503	22.244	21.748
30/10/2023 11:52	43.503	22.536	21.963
30/10/2023 11:52	43.554	22.789	22.266
30/10/2023 11:52	43.554	23.101	22.549
30/10/2023 11:52	43.656	25.818	25.237
30/10/2023 11:52	43.911	25.536	24.914
30/10/2023 11:52	44.115	25.224	24.533
30/10/2023 11:52	44.166	23.451	22.969
30/10/2023 11:52	44.166	24.64	24.005

Tabel L-5. 3 Hasil Uji BJ 01-3

BJ 01 -1			
Date Time	Beban (Kn)	LVDT 1	LVDT 2
31/10/2023 12:00	0	0.01	0
31/10/2023 12:00	-0.051	0	0
31/10/2023 12:00	2.193	0.039	0
31/10/2023 12:00	4.488	0.136	0.029
31/10/2023 12:00	6.528	0.205	0.215
31/10/2023 12:00	8.058	0.253	0.225
31/10/2023 12:00	9.333	0.312	0.244
31/10/2023 12:00	10.149	0.419	0.332
31/10/2023 12:00	10.659	0.477	0.469
31/10/2023 12:00	10.659	0.516	0.479
31/10/2023 12:00	11.781	0.623	0.528
31/10/2023 12:00	12.24	0.808	0.772
31/10/2023 12:00	12.699	0.925	0.801
31/10/2023 12:00	12.801	1.023	0.929
.			
.			
.			
31/10/2023 12:02	46.869	24.766	24.582
31/10/2023 12:02	47.634	25.068	25.081
31/10/2023 12:03	47.94	25.341	25.071
31/10/2023 12:03	47.838	25.594	25.765
31/10/2023 12:03	47.481	25.818	25.755
31/10/2023 12:03	47.226	26.052	26.117
31/10/2023 12:03	47.022	26.266	26.107
31/10/2023 12:03	47.124	26.51	26.273
31/10/2023 12:03	47.838	26.802	26.566
31/10/2023 12:03	47.99	27.084	26.84
31/10/2023 12:03	47.685	27.298	27.075
31/10/2023 12:03	47.328	27.493	27.28
31/10/2023 12:03	47.124	27.688	27.514

Tabel L-5. 4 Hasil Uji BJ 02-1

BJ 01 -1			
Date Time	Beban (Kn)	LVDT 1	LVDT 2
27/10/2023 14:41	0	-0.01	0.01
27/10/2023 14:41	1.224	0.029	0.166
27/10/2023 14:41	2.193	0.058	0.205
27/10/2023 14:41	4.182	0.146	0.235
27/10/2023 14:41	5.61	0.263	0.283
27/10/2023 14:41	7.089	0.312	0.332
27/10/2023 14:41	8.313	0.36	0.43
27/10/2023 14:41	9.282	0.516	0.489
27/10/2023 14:41	11.577	0.76	0.772
27/10/2023 14:41	13.056	1.032	1.007
27/10/2023 14:41	13.719	1.178	1.056
27/10/2023 14:41	14.178	1.286	1.232
27/10/2023 14:41	14.484	1.461	1.359
27/10/2023 14:41	14.892	1.461	1.349
.			
.			
.			
27/10/2023 14:44	43.401	17.355	17.095
27/10/2023 14:44	43.401	17.579	17.232
27/10/2023 14:44	43.197	17.744	17.476
27/10/2023 14:44	42.942	17.949	17.662
27/10/2023 14:44	42.993	18.202	17.955
27/10/2023 14:44	43.146	18.446	18.2
27/10/2023 14:44	43.35	18.679	18.376
27/10/2023 14:44	43.503	18.933	18.659
27/10/2023 14:44	43.605	19.176	18.845
27/10/2023 14:44	43.809	19.4	19.05
27/10/2023 14:44	43.758	19.595	19.245
27/10/2023 14:44	39.27	19.721	19.441
27/10/2023 14:44	38.046	19.897	19.48

Tabel L-5. 5 Hasil Uji BJ 02-2

BJ 01 -1			
Date Time	Beban (Kn)	LVDT 1	LVDT 2
30/10/2023 14:51	0.051	-0.01	0
30/10/2023 14:51	0.051	-0.01	-0.01
30/10/2023 14:51	0.051	-0.01	-0.01
30/10/2023 14:51	0.051	-0.01	-0.01
30/10/2023 14:51	0.102	-0.01	-0.01
30/10/2023 14:51	0.918	0.049	0.039
30/10/2023 14:51	2.142	0.136	0.059
30/10/2023 14:51	3.111	0.185	0.108
30/10/2023 14:51	4.182	0.253	0.186
30/10/2023 14:57	4.488	93.407	67.217
30/10/2023 14:57	4.692	93.407	67.657
30/10/2023 14:57	4.692	93.407	67.696
30/10/2023 14:57	4.692	93.407	79.885
30/10/2023 14:57	4.692	93.407	97.84
.			
.			
.			
30/10/2023 14:54	47.787	21.874	21.806
30/10/2023 14:54	47.838	18.485	18.024
30/10/2023 14:54	47.889	22.098	22.099
30/10/2023 14:54	47.889	22.721	22.969
30/10/2023 14:54	47.991	18.28	17.779
30/10/2023 14:54	47.991	19.673	19.265
30/10/2023 14:54	48.042	20.773	20.457
30/10/2023 14:54	48.042	22.322	22.393
30/10/2023 14:54	48.144	22.517	22.588
30/10/2023 14:54	48.195	19.936	19.519
30/10/2023 14:54	48.45	20.189	19.812
30/10/2023 14:54	48.501	20.588	20.242
30/10/2023 14:54	48.552	20.364	19.998

Tabel L-5. 6 Hasil Uji BJ 02-3

BJ 01 -1			
Date Time	Beban (Kn)	LVDT 1	LVDT 2
31/10/2023 10:33	0	0.01	0.02
31/10/2023 10:33	3.009	0.156	0.235
31/10/2023 10:33	5.967	0.292	0.44
31/10/2023 10:33	9.282	0.487	0.557
31/10/2023 10:33	9.537	0.555	0.577
31/10/2023 10:33	14.382	1.11	1.036
31/10/2023 10:33	16.014	1.402	1.349
31/10/2023 10:33	16.626	1.548	1.505
31/10/2023 10:33	17.034	1.607	1.613
31/10/2023 10:33	17.34	1.685	1.691
31/10/2023 10:33	17.085	1.695	1.701
31/10/2023 10:33	16.932	1.695	1.691
31/10/2023 10:33	18.003	1.772	1.72
31/10/2023 10:33	18.717	1.88	1.965
.			
.			
.			
31/10/2023 10:35	49.215	19.332	19.627
31/10/2023 10:35	49.368	19.556	19.861
31/10/2023 10:35	49.47	19.79	20.057
31/10/2023 10:35	49.419	20.014	20.252
31/10/2023 10:35	49.368	20.208	20.555
31/10/2023 10:35	49.368	20.442	20.731
31/10/2023 10:35	49.317	20.637	20.966
31/10/2023 10:35	49.266	20.861	21.23
31/10/2023 10:35	49.266	21.095	21.493
31/10/2023 10:35	49.164	21.289	21.689
31/10/2023 10:35	49.164	21.523	21.816
31/10/2023 10:35	49.062	21.737	22.041
31/10/2023 10:35	48.96	21.952	22.256
31/10/2023 10:35	48.858	22.176	22.49