TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN BAJA RINGAN SEBAGAI BAHAN PENGGANTI BAJA TULANGAN TERHADAP KUAT LENTUR BALOK

(THE EFFECT OF LIGHT STEEL AS THE REPLACEMENT OF REINFORCING STEEL ON FLEXULRAL STRENGHT OF BEAM)

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

Mohammad Pabeangi Raupu
19511220

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN BAJA RINGAN SEBAGAI BAHAN PENGGANTI BAJA TULANGAN TERHADAP KUAT LENTUR BALOK

(THE EFFECT OF LIGHT STEEL AS THE REPLACEMENT OF REINFORCING STEEL ON FLEXULRAL STRENGHT OF BEAM)

Disusun oleh

Mohammad Pabeangi Raupu
19511220

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh derajat sarjana Teknik sipil

Diuji pada tanggal 28 agustus 2024

Oleh dewan penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Elvis Saputra., S.T.,M.T	**Jafar S.T., MURP.,M.T.**	**Dinia Anggraheni S.T., M.Eng.**
NIK :205111302	**NIK :185111305**	**NIK :165110105**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

3/9/2024

Ir. Yunalia Muntafi, S. T., M. T., Ph.D-Eng., IPM
NIK:095110101

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, 28 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,

Mohammad Pabeangi Raupu

(19511220)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Pengaruh Penggunaan Baja Ringan Sebagai Bahan Pengganti Baja Tulangan Terhadap Kuat Lentur Balok". 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.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Papa, mama, kakak dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa, dukungan moral, serta motivasi yang tidak pernah berhenti dalam mendukung setiap langkah penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. 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.
3. Bapak Elvis Saputra, S.T., M. T. selaku Dosen Pembimbing Proposal Tugas Akhir yang telah memberikan kritik, saran, nasihat, serta motivasi kepada saya selama pengerjaan Proposal Tugas Akhir ini berlangsung.
4. Jafar S.T., MURP.,M.T. Selaku penguji Tugas Akhir, yang telah memberikan masukan, kritik maupun saran, dan memberikan evaluasi untuk lebih baik di kemudian hari,
5. Dinia Anggraheni S.T., M.Eng. Selaku penguji Tugas Akhir, yang telah memberikan masukan, kritik maupun saran, dan memberikan evaluasi untuk lebih baik di kemudian hari,

Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 28 Agustus, 2024

Penulis,

Mohammad Pabeangi Raupu

(19511220)

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR iii

DAFTAR ISI v

DAFTAR GAMBAR viii

DAFTAR TABEL xiii

DAFTAR LAMPIRAN xv

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xvi

ABSTRAK xviii

ABSTRACK xix

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Tujuan Penelitian 2

1.4 Manfaat Penelitian 2

1.5 Batasan Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1 Peneliti Terdahulu 5

2.2 Perbedaan Penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang 7

BAB III LANDASAN TEORI 11

3.1 Beton bertulang 11

3.2 Bahan Penyusun Beton Bertulang 12

3.2.1 Semen 13

3.2.2 Agregat 13

3.2.3 Air 13

3.2.4 Tulangan baja 13

3.2.5 Baja ringan 15

3.3 perencanaan campuran beton 16

3.4 Berat Volume 22

3.5 Pengujian Benda Uji 22

3.4 Kuat Lentur 24

2.4 Lendutan, Keruntuhan, Kekakuan 24
BAB IV METODE PENELITIAN 30
4.1 Tinjauan Umum 30
4.2 Teknik Pengumpulan Data 30
4.3 Bahan dan Benda uji 31
4.3.1 Bahan yang digunakan 31
4.3.2 Benda uji 34
4.4 Peralatan penelitian 34
4.5 Tahapan Penelitian 40
4.6 Bagan Alir Penelitian 46
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 49
5.1 Pengujian material 49
5.1.1 Uji material Agregat Halus 49
5.1.2 Uji Material Agregat Kasar 52
5.2 Analisis Proporsi Campuran Beton 56
5.3 Pengujian Kuat Tekan Beton 61
5.4 Pengujian Baja Tulangan 62
5.5 Pengujian Lentur Balok 64
5.5.1 Pengujian Balok Kontrol 65
5.5.2 Pengujian Balok Variasi (BJ 02) 68
5.6 Analisis Kuat Lentur Balok BJ 01 dan BJ 02 73
5.7 Analisis Momen Lentur Eksperimen Baja Ringan (*Hollow*) dan Baja Tulangan 74
5.8 Analisis Momen Lentur Teoritis Baja Ringan (*Hollow*) dan Baja Tulangan 85
5.9 Perbandingan Momen Lentur Eksperimen dan Teoritis 93
5.10 Analisis Lendutan Balok Bertulang Baja Ringan (Hollow) dan Baja Tulangan 94
5.11 Analisis Pola Retak dan Keruntuhan Balok Bertulang Baja Ringan (Hollow) dan Baja Tulangan 99
5.12 Analisis Kekakuan Balok Bertulang Baja Ringan dan Baja Tulangan 101

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 103
6.1 Kesimpulan 103
6.2 Saran 103
DAFTAR PUSTAKA 105
LAMPIRAN 107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Grafik Tegangan-Regangan Beton Tulangan Rangkap 12
Gambar 3. 2 Grafik korelasi Tegangan-Regangan 14
Gambar 3. 3 Daerah Grafik Tegangan-Regangan 15
Gambar 3. 4 Grafik Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150mm, tinggi 30mm) 18
Gambar 3. 5 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimal 10 mm) 20
Gambar 3. 6 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimal 20 mm) 20
Gambar 3. 7 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimal 40 mm) 21
Gambar 3. 8 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah 21
Gambar 3. 9 Bentuk hasil pengujian *Slump* 23
Gambar 3. 10 Model Pembebanan Balok Dengan Sistem Dua Titik 24
Gambar 3. 11 Momen dan Lendutan pada Tampang Memanjang balok (Sumber: Sipigel dan Limbrumer 1991) 26
Gambar 3. 12 Hubungan Beban dan Lendutan 26
Gambar 3. 13 Grafik Hubungan antara Beban-Lendutan pada Balok (Sumber: Nawy,1998) 27
Gambar 4. 1 Semen portland 31
Gambar 4. 2 Agregat kasar 32
Gambar 4. 3 Agregat halus 32
Gambar 4. 4 Air 32
Gambar 4. 5 Baja tulangan 33
Gambar 4. 6 Baja ringan 33
Gambar 4. 7 Timbangan *ohaus* 34
Gambar 4. 8 Saringan agregat 34
Gambar 4. 9 Cetakan silinder 35

Gambar 4. 10 Mistar 35
Gambar 4. 11 Oven 36
Gambar 4. 12 Ember 36
Gambar 4. 13 Kerucut *abrams* 37
Gambar 4. 14 Penumbuk 37
Gambar 4. 15 *Mixer* beton 38
Gambar 4. 16 Sekop 38
Gambar 4. 17 Palu karet 39
Gambar 4. 18 Alat kuat lentur *(flexural test)* 39
Gambar 4. 19 *Compresing Testing Machine* (CTM) 40
Gambar 4. 20 Sketsa pengujian kuat tekan beton **Error! Bookmark not defined.**
Gambar 4. 21 Sketsa pengujian kuat lentur 46
Gambar 4. 22 Diagram alir 48
Gambar 5. 1 Kurva distribusi Agregat Halus 51
Gambar 5. 2 Kurva Grafik Analisis saringan Agregat Kasar Ukuran 20 mm 55
Gambar 5. 3 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan FAS 57
Gambar 5. 4 Grafik Presentasi Agregat Halus 58
Gambar 5. 5 Grafik Berat Isi Beton 59
Gambar 5. 6 Benda Uji BJ 01 – 1 65
Gambar 5. 7 Grafik Beban (kN) – Lendutan (mm) BJ 01 – 1 66
Gambar 5. 8 Benda Uji BJ 01 – 2 66
Gambar 5. 9 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 01 -2 67
Gambar 5. 10 Benda Uji 01 – 3 67
Gambar 5. 11 Grafik Beban (kN) – Lendutan (mm) BJ 01 – 3 68
Gambar 5. 12 Benda uji balok BJ 02 – 1 68
Gambar 5. 13 Detail pola keruntuhan BJ 02 – 1 69
Gambar 5. 14 Detail tulangan pada balok BJ 02 – 1 69
Gambar 5. 15 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 02 - 1 69
Gambar 5. 16 Benda uji balok BJ 02 – 2 70
Gambar 5. 17 Detail pola keruntuhan BJ 02 – 2 70
Gambar 5. 18 Detail tulangan pada balok BJ 02 – 2 70

Gambar 5. 19 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 02 - 2 71
Gambar 5. 20 Benda uji balok BJ 02 – 3 71
Gambar 5. 21 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 02 – 3 72
Gambar 5. 22 Perbandingan Grafik Beban (kN) – Lendutan (mm) BJ 01 dan BJ 02 72
Gambar 5. 23 Ilustrasi Pengujian BJ 01-1 75
Gambar 5. 24 *Banding moment diagram* (BMD) BJ 01 – 1 76
Gambar 5. 25 Ilustrasi Pengujian BJ 01 - 2 76
Gambar 5. 26 *Banding moment diagram* (BMD) BJ 01 – 2 78
Gambar 5. 27 Ilustrasi Pengujian BJ 01 - 3 78
Gambar 5. 28 *Banding moment diagram* (BMD) BJ 01 - 3 79
Gambar 5. 29 Ilustrasi Pengujian BJ 02 - 1 80
Gambar 5. 30 *Banding moment diagram* (BMD) BJ 02 – 1 81
Gambar 5. 31 Ilustrasi Pengujian BJ 02 – 2 81
Gambar 5. 32 *Banding moment diagram* (BMD) BJ 02 – 2 83
Gambar 5. 33 Ilustrasi Pengujian BJ 02 - 3 83
Gambar 5. 34 *Banding moment diagram* (BMD) BJ 02 - 3 84
Gambar 5. 35 Grafik Tegangan Regangan BJ 01 88
Gambar 5. 36 Luas Penampang Baja Ringan *Hollow* Uk. 4 x 2 90
Gambar 5. 37 Luas Penampang Baja Ringan *Hollow* Uk. 3 x 2 90
Gambar 5. 38 grafik hubungan tegangan-regangan BJ 02 92
Gambar 5. 39 Grafik perbandingan rata – rata momen nominal eksperimen dan momen nominal teoritis 93
Gambar 5. 40 Grafik Retakan Pertama Hingga Kehancuran Balok Beton BJ 01-1 95
Gambar 5. 41 Grafik Retakan Pertama Hingga Kehancuran Balok Beton BJ 01-2 95
Gambar 5. 42 Grafik Retakan Pertama Hingga Kehancuran Balok Beton BJ 01-3 96
Gambar 5. 43 Gambar 5. 43 Grafik Retakan Pertama Hingga Kehancuran Balok Beton BJ 02-1 97

Gambar 5. 44 Grafik Retakan Pertama Hingga Kehancuran Balok Beton BJ 02-2 97
Gambar 5. 45 Grafik Retakan Pertama Hingga Kehancuran Balok Beton BJ 02-3 98
Gambar 5. 46 Grafik perbandingan lendutan BJ 01 dan BJ 02 99
Gambar 5. 47 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 01-1 100
Gambar 5. 48 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 01-2 100
Gambar 5. 49 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 01-3 100
Gambar 5. 50 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 02-1 101
Gambar 5. 51 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 02-2 101
Gambar 5. 52 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 02-3 101
Gambar L-1. 1 Surat izin pemakaian lab 108
Gambar L-2. 1 Cetakan Silinder 109
Gambar L-2. 2 Kerucut *abrams* 109
Gambar L-2. 3 Tongkat penumbuk 109
Gambar L-2. 4 *Mixer concreate* 110
Gambar L-2. 5 Palu karet 110
Gambar L-2. 6 Saringan Agregat 111
Gambar L-2. 7 Timbangan ohauss 111
Gambar L-2. 8 Cangkul 112
Gambar L-2. 9 Ember 112
Gambar L-2. 10 Oven 113
Gambar L-2. 11 Tulangan BJ 01 dan BJ 02 113
Gambar L-2. 12 Bekisting balok 113
Gambar L-2. 13 Mesin uji kuat tekan 114
Gambar L-3. 1 Pemasangan tulangan 115
Gambar L-3. 2 Pengisian beton segar 115
Gambar L-3. 3 Perawatan balok 116
Gambar L-3. 4 Balok di cat 116
Gambar L-4. 1 Penimbangan benda uji 117
Gambar L-4. 2 Peletakan benda uji 117

Gambar L-4. 3 Proses pengujian 118
Gambar L-4. 4 Benda uji setelah di uji 118

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdauhulu dan Penelitian Rencana 8
Tabel 3. 1 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar Bila Data Hasil uji yang Tersedia kurang dari 30 16
Tabel 3. 2 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan FAS, dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia 17
Tabel 3. 3 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam lingkungan khusus 18
Tabel 3. 4 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/$\boldsymbol{m3}$) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton 19
Tabel 4. 1 Rincian Sampel Pengujian Beton 41
Tabel 4. 2 Rencana Penulangan 42
Tabel 5. 1 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan air Agregat Halus 49
Tabel 5. 2 Uji Modulus Halus Butir Agregat Halus 50
Tabel 5. 3 Uji Kandungan Lumpur 51
Tabel 5. 4 Uji Berat Isi Gembur Agregat Halus 52
Tabel 5. 5 Uji Berat Isi Padat Agregat Halus 52
Tabel 5. 6 Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar 53
Tabel 5. 7 Uji Modulus Halus Butir Agregat Kasar 54
Tabel 5. 8 Uji Berat Isi Gembur Agregat Kasar 55
Tabel 5. 9 Uji Berat Isi Padat Agregat Kasar 56
Tabel 5. 10 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton 61
Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Analisis Tulangan 64
Tabel 5. 12 Rekapitulasi Kuat Lentur 74
Tabel 5. 13 Rekapitulasi Momen Nominal Eksperimen 85
Tabel 5. 14 Perbandingan Momen Lentur Eksperimen dan Teoritis 93
Tabel 5. 15 Hasil Rekapitulasi Lendutan Balok 98
Tabel 5. 16 Hasil rekapitulasi kekakuan balok 102
Tabel L-5 .1 Hasil uji BJ 01 - 1 119

Tabel L-5 .2 Hasil uji BJ 01 - 2 120
Tabel L-5 3 Hasil uji BJ 01 - 3 121
Tabel L-5 .4 Hasil uji BJ 02 - 1 122
Tabel L-5 .5 Hasil uji BJ 02 - 2 123
Tabel L-5 .6 Hasil uji BJ 02 - 3 124

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Surat izin 107

LAMPIRAN 2 Alat dan bahan 108

LAMPIRAN 3 Pembuatan benda uji 114

LAMPIRAN 4 Pengujian 116

LAMPIRAN 5 Hasil uji 118

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Cc = Concrete compression

Cs = Concrete Strength

Mn = 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)

Sr = Deviasi standar rencana (MPa)

fcr = Kuat tekan beton rata-rata rencana (MPa)

f'c = Kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

Wh = Perkiraan air untuk agregat halus

Wk = Perkiraan air untuk agregat kasar

$BJAG$ = Berat jenis agregat gabungan

$BJAH$ = Berat jenis agregat halus

$BJAK$ = Berat jenis agregat kasar

%AH = Persentase agregat halus

%AK = Persentase agregat kasar

Py = Beban saat kondisi leleh (N)

Pu = Beban saat kondisi ultimate (N)

A = Luas penampang (mm^3)

Fy = Kuat tarik (MPa)

Fu = Kuat tarik ultimate (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 = inersia ($mm4$)

K = Kekakuan (kN/mm)

A = Luas penampang (mm^3)

εc’ = 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

Kekuatan dan ketahanan struktur bangunan dianggap sebagai aspek penting dalam konstruksi. Beton bertulang, yang merupakan material komposit terdiri dari beton dan baja tulangan, telah digunakan untuk memastikan ketahanan struktur dalam waktu lama. Fungsi baja tulangan adalah untuk menahan gaya tarik, sementara beton digunakan untuk menahan gaya tekan. Meskipun demikian, kelemahan beton bertulang adalah rendahnya kekuatan persatuan beton, yang menyebabkan berat beton yang tinggi dan dapat membebani struktur. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji penggunaan baja ringan sebagai pengganti baja tulangan pada beton bertulang. Baja ringan, yang memiliki bobot lebih ringan dibandingkan baja konvensional, memiliki kekuatan yang sebanding. Penggunaan baja ringan yang telah ditunjukkan dalam penelitian sebelumnya dapat meningkatkan kuat lentur beton bertulang. Baja ringan profil Hollow dengan ukuran 4x2 dan 3x2 akan digunakan dalam penelitian ini sebagai pengganti baja tulangan pada beton bertulang. Beton akan diuji untuk kekuatan lentur setelah 28 hari pembuatan sampel guna mengamati beban dan lendutan yang terjadi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan baja ringan sebagai pengganti baja tulangan terhadap kekuatan lentur balok. Pengujian dilakukan dengan membebani balok di dua titik dan mengukur lendutannya. Pola retak dan keruntuhan balok juga akan diamati selama pengujian.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan antara nilai momen nominal yang diukur secara eksperimental dan momen nominal yang dihitung secara teoritis tidak terlalu signifikan. Penurunan nilai momen nominal eksperimental tercatat sebesar 1,52 kNm dibandingkan dengan balok bertulang baja. Selama pengujian kekuatan lentur, penurunan kekuatan lentur sebesar 3,632 MPa dicatat pada balok dengan baja ringan. Namun, balok tersebut menunjukkan defleksi yang lebih kecil, yaitu 17,923 mm, pada beban maksimum. Dengan demikian, penggunaan baja ringan dalam beton yang diuji menyebabkan penurunan momen nominal dan kekuatan lentur, tetapi kekakuan balok meningkat. Penurunan performa ini disebabkan oleh kegagalan beton pada balok baja ringan (bj 02) yang masih dalam kondisi basah saat diuji, akibat dari pencampuran dan perawatan yang kurang optimal.

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

ABSTRACK

Strength and durability of building structures are essential aspects in construction. Reinforced concrete, a composite material comprising concrete and steel reinforcement, has long been utilized to ensure structural resilience. Steel reinforcement functions to resist tensile forces, while concrete withstands compressive forces. However, reinforced concrete has a weakness due to the low tensile strength of concrete itself, resulting in high concrete weight that can burden the structure. This research aims to investigate the use of lightweight steel as a substitute for conventional steel reinforcement in reinforced concrete. Lightweight steel is lighter than conventional steel but maintains comparable strength. Previous studies have shown that the use of lightweight steel can enhance the flexural strength of reinforced concrete. This study will employ lightweight steel Hollow profiles sized at 4x2 and 3x2 as substitutes for steel reinforcement in reinforced concrete. Concrete will be tested for flexural strength after 28 days of sample preparation to observe the applied loads and resulting deflections

This research aims to determine how the use of lightweight steel filled as a substitute for steel reinforcement affects the flexural strength of beams. Testing will involve loading beams at two points and measuring their deflections. Crack patterns and beam failures will also be observed during the testing.

The results of the study show that the comparison between the experimental nominal moment value and the theoretical nominal moment value reveals a relatively small difference. The experimental nominal moment value decreased by 1.52 kNm compared to the steel-reinforced beam. The lightweight steel beam experienced a reduction in flexural strength, with a decrease of 3.632 MPa compared to conventional steel-reinforced beams. However, the lightweight steel beam exhibited a smaller deflection of 17.923 mm at the maximum load. In conclusion, using lightweight steel in the tested concrete reduced the nominal moment and flexural strength but resulted in increased beam stiffness. This performance reduction is due to the failure of the concrete in the lightweight steel beam (bj 02), which was still wet during testing, caused by less optimal mixing and curing.

Keywords : Reinforced concrete, Lightweight steel, Flexural strength, Deflection

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan beton bertulang banyak digunakan dalam suatu konstruksi bangunan., Beton bertulang merupakan jenis material komposit di mana baja tulangan disusun secara terstruktur dalam massa beton. Fungsi utama baja tulangan adalah untuk menanggulangi gaya tarik yang bekerja pada struktur, bekerja sama dengan beton untuk menahan berbagai gaya yang bekerja pada elemen tersebut. Melalui kombinasi keduanya, beton bertulang menjadi sangat kuat terhadap gaya tekan dan tarik.

Beton bertulang juga memiliki kelemahan utama yaitu, rendahnya kekuatan persatuan beton yang berdampak pada berat beton yang dapat mempengaruhi pada struktur. Hal ini menjadikan banyak penelitian dan inovasi mengenai perkembangan beton bertulang tanpa mengurangi fungsi dan ketahanannya. Salah satu inovasi yang akan dilakukan adalah mengganti baja tulangan menggunakan baja ringan. Seperti yang dilakukan Kahono (2021), baja ringan profil Hollow dengan ukuran 4x2 dan 4x4 dibandingkan dengan balok bertulang pejal konvesional. Dari hasil penelitian didapatkan berat satuan rata-rata sebesar 2337.648 kg/cm^3. Kuat lentur beton dengan Hollow ukuran 4x2 dan 4x4 masing masing meningkat 13.86% dan 18.48% jika dibandingkan dengan beton bertulang konvesional.

Baja ringan adalah baja berkualitas tinggi yang bersifat ringan dan tipis, akan tetapi kekuatannya tidak kalah dari baja konvensional. Ada bebarapa macam baja ringan yang dikelompokan berdasarkan nilai tegangan tariknya *(tensile strength)*.

Pada penelitian ini, penulis menggunakan baja ringan sebagai bahan pengganti baja tulangan pada beton. Pengujian balok dilakukan pada umur setelah 28 hari pembuatan sampel. Setelah itu, sampel diuji kuat lentur dengan mengamati beban dan lendutan yang terjadi.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimanakah perbandingan momen nominal secara teoritis dengan momen nominal eksperimen?
2. Bagaimanakah pengaruh penggunaan baja ringan sebagai pengganti tulangan baja terhadap kuat lentur balok beton bertulang?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan baja ringan sebagai pengganti tulangan baja terhadap lendutan maksimum balok beton bertulang?

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 pengaruh penggunaan baja ringan sebagai pengganti tulangan baja terhadap kuat lentur balok beton bertulang.
3. Mengetahui pengaruh baja ringan sebagai pengganti tulangan baja terhadap lendutan maksimum balok beton bertulang.

1.4 Manfaat Penelitian

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

1. Penelitian ini akan memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil, khususnya dalam memahami perbandingan antara momen nominal secara teoritis dan eksperimen pada balok beton bertulang.
2. Pengetahuan tentang pengaruh baja ringan terhadap lendutan maksimum balok beton bertulang dapat digunakan untuk merancang balok yang lebih tahan terhadap deformasi, sehingga meningkatkan keamanan dan kenyamanan bangunan.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini terarah dan tidak keluar dari tujuan serta mudah dipahami, untuk itu diperlukan adanya batasan penelitian sebagai berikut:

1. Penlitian dibatasi pada pengujian lentur balok.
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. Semen yang digunakan adalah semen portlang tipe I merk tiga roda
5. Agregat kasar yang digunakan berukuran maksimum 20 mm
6. Agregatt halus yang digunakan berukuran diameter maksimum 4,8 mm
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 fc 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 hollow 2x3 dan 2x4
12. 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.
13. Perawatan balok beton bertulang selama 28 hari menggunakan karung goni basah.
14. Benda uji untuk kuat tekan berjumlah 3 silinder berdiameter 150 mm dengan tinggi 300 mm.
15. Perawatan slinder beton direndam selama 28 hari.
16. Pengujian beton keras dilakukan setelah umur 28 hari
17. Pengujian serta standar acuan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.
    a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus menggunakan SNI 03-1970-1990.

b. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar menggunakan SNI 03-1969-1990.
c. Pengujian analisis saringan agregat halus menggunakan SNI 03-1968-1990.
d. Pengujian analisis saringan agregat kasar menggunakan SNI 03-1968-1990.
e. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus menggunakan SNI 03-4804-1998.
f. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat kasar menggunakan SNI 03-4804-1998.
g. Pengujian lolos saringan no.200 (uji kandungan lumpur agregat halus) menggunakan SNI 03-4142-1996.
h. Pengujian slump beton menggunakan SNI 1972-2008.
i. Pengujian kuat tekan beton menggunakan SNI 1974-2011.
j. Pengujian kuat lentur dengan dua titik pembebanan menggunakan SNI 03-4431-1997.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peneliti Terdahulu

Penelitian pengaruh penggunaan baja ringan sebagai bahan pengganti baja tulangan sudah pernah dilakukan sebelumnya oleh beberapa penliti terdahulu, sehingga dapat dijadikan referensi untuk digunakan dalam penelitian ini. Peneliti mengambil jurnal terdaulu sebagai referensi dalam peneltian ini. Jurnal yang digunakan sebagai referensi sebagai berikut.

1. K. Budi Hastono (2013) melakukan penelitian penggunaan baja ringan tipe Hollow (*Cold-Formed*) sebagai tulangan pada balok beton bertulang dalam menahan beban lentur. Dalam penelitian ini, dilakukan uji pendahuluan untuk mengevaluasi sifat fisik dan mekanik bahan. Uji lentur dilakukan dengan metode pembebanan dua titik hingga terjadi retak lentur pada balok beton bertulang, dengan spesimen berukuran 15x20x60 cm. Variasi yang diuji mencakup penggunaan tulangan baja berdiameter 12mm dan tulangan baja ringan tipe Hollow dengan selimut beton setebal 40 dan 70 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan baja ringan tipe Hollow menghasilkan kuat lentur yang 23,2% lebih tinggi dibandingkan dengan tulangan baja konvensional.
2. Yuyu Oktarinata, Indra Gunawan, Donny Fransiskus Manalu (2020) melakukan penelitian ini membahas kapasitas lentur balok komposit beton dengan baja ringan. Uji kuat lentur dilakukan pada balok beton bertulang dengan mutu beton 17 MPa yang dibebani pada dua titik. Benda uji terdiri dari empat variasi: Variasi A menggunakan balok dengan baja tulangan konvensional (rangkap), Variasi B menggunakan balok dengan baja ringan (rangkap), Variasi C menggunakan balok dengan baja ringan (tunggal), dan Variasi D menggunakan balok dengan tulangan baja konvensional di daerah tekan serta baja ringan di daerah tarik. Berdasarkan analisis teoritis, momen lentur untuk variasi A adalah 3.726 kNm, B 5.460 kNm, dan D 6.780 kNm; sementara nilai lendutan adalah A 0.791 mm,

B 0.575 mm, C 0.532 mm, dan D 0.655 mm. Hasil pengujian menunjukkan nilai kuat lentur untuk variasi A sebesar 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; serta 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 kuat lentur dan momen lentur yang lebih tinggi dengan lendutan yang lebih kecil dibandingkan 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 melibatkan empat skema, di mana skema 1 menggunakan balok beton dengan tulangan baja ringan kanal C, skema 2 menggunakan kanal C tanpa sayap, skema 3 menggunakan kanal C tanpa sayap yang terpisah, dan skema 4 merupakan balok beton bertulang konvensional. Beton yang digunakan memiliki mutu f'c 20 MPa, dengan dimensi benda uji 15x15x60 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa skema 1 dengan baja ringan kanal C menghasilkan kuat lentur tertinggi, yaitu 7,48 MPa, sedangkan skema dengan 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" Penelitian ini menggunakan tulangan baja ringan berbentuk kanal C sebagai tulangan pada balok beton. Tahapan yang dilakukan meliputi pengadaan dan perawatan bahan, pemeriksaan bahan dan peralatan, perencanaan campuran beton, pembuatan dan perawatan beton (curing), serta pengujian dan analisis hasil beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baja ringan kanal C menghasilkan kuat lentur sebesar 11,816 MPa, sedangkan baja normal menghasilkan kuat lentur sebesar 9,993 MPa. Berdasarkan hasil ini, baja ringan kanal C dapat dianggap sebagai alternatif pengganti baja tulangan konvensional.
5. Mas Kahono Pekik Hari Prasetiyo, 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 dihalaman selanjutnya

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdauhulu dan Penelitian Rencana

Penelitian Terlebih Dahulu						**Rencana penelitian**
Penelitian	K. Budi Hastono (2013)	Mas Kahono, dkk (2021)	Khala , dkk (2021)	Dewi , dkk (2021)	Yuyu oktarinata , dkk (2022)	Moh. Pabeangi r (2024)
Judul penelitian	Penggunaan baja ringan (Cold Formed) type hollow sebagai tulangan pada balok beton bertulang dalam memikul beban lentur	Pengaruh penggunaan baja ringan profil Hollow terhadap kuat lentur beton	Uji Lentur Balok Beton Bertulang Baja Ringan Dengan Skema Tulangan Tunggal	Analisa kuat lentur balok bertulang dengan menggunakan profil baja ringan sebagai tulangan	Kapasitas lentur balok komposit beton dengan baja ringan	Pengaruh penggunaan Baja ringan sebagai bahan pengganti baja tulangan terhadap kuat lentur balok.
Tujuan	1.Untuk mengetahui pengaruh penggunaan tulangan baja ringan tipe hollow terhadap kuat lentur 2.Untuk mengetahui pengaruh beton deking terhadap kuat lentur beton	1.Untuk mengetahui informasi pengaruh penggunaan baja ringan sebagai tulangan pada balok bertulang terhadap kuat lentur balok 2.Untuk mengetahui perbandingan biaya menggunakan pengganti baja ringan.	1. Untuk mengatahui pengaruh baja riingan 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 kekauannya.	1.Untuk mengetahui pengaruh penggunaan baja ringan sebagai tulangan pada balok bertulang terhadap kuat lentur balok. 2. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan baja ringan sebagai tulangan pada balok bertulang	1.Mengetahui perbandingan momen nominal secara teoritis dengan momen nominal eksperimen 2.Mengetahui pengaruh penggunaan baja ringan sebagai pengganti tulangan baja terhadap kuat lentur balok beton bertulang. 3.Mengetahui pengaruh baja ringan sebagai pengganti tulangan baja terhadap lendutan maksimum balok beton bertulang.
Metode penelitian	Pembebanan dengan dua titik.	Pembebanan dengan satu titik.	Pembebanan dengan dua titik.	Pembebanan dengan dua titik.	Pembebanan dengan dua titik.	Pembebanan dengan dua titik.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdauhulu dan Penelitian Rencana

Penelitian Terlebih Dahulu						**Rencana penelitian**
Penelitian	K. Budi Hastono (2013)	Mas Kahono, dkk (2021)	Khala , dkk (2021)	Dewi , dkk (2021)	Yuyu oktarinata , dkk (2022)	Moh. Pabeangi r (2024)
Tipe baja ringan	Tipe hollow	Hollow 4x2, Hollow 4x4	Kanal c	Kanal c	profil c	Hollow 2x4 , hollow 2x3
Hasil penelitian	Penggunaan tulangan baja ringan khususnya tipe Hollow memberikan nilai kuat lentur lebih besar 23.2% dibandingkan dengan tulangan baja ulir pada balok beton bertulang.	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	Hasil dari pengujian menunjukkan 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 kenvesional menghasilkan kuat lentur sebesar 5.06 Mpa.	1. Nilai kuat lentur rata-rata pada sampel Baja Ringan kanal C desain B yaitu 11,816 Mpa dan baja tulangan didapat nilai kuat lentur 9,993 Mpa, 2. Niai kekakuan rata rata pada sampel Baja ringan kanal C dengan design B mendapat 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 dapat digunakan sebagai alternativ pengganti pada tulangan baja tulangan kususnya pada balok dengan dimensi 15x15 cm.	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 penelitian menunjukkan bahwa perbedaan antara nilai momen nominal yang diukur secara eksperimental dan momen nominal yang dihitung secara teoritis tidak terlalu signifikan. Penurunan nilai momen nominal eksperimental tercatat sebesar 1,52 kNm dibandingkan dengan balok bertulang baja. Selama pengujian kekuatan lentur, penurunan kekuatan lentur sebesar 3,632 MPa dicatat pada balok dengan baja ringan. Namun, balok tersebut menunjukkan defleksi yang lebih kecil, yaitu 17,923 mm, pada beban maksimum. Dengan demikian, penggunaan baja ringan dalam beton yang diuji menyebabkan penurunan momen nominal dan kekuatan lentur, tetapi kekakuan balok meningkat.

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

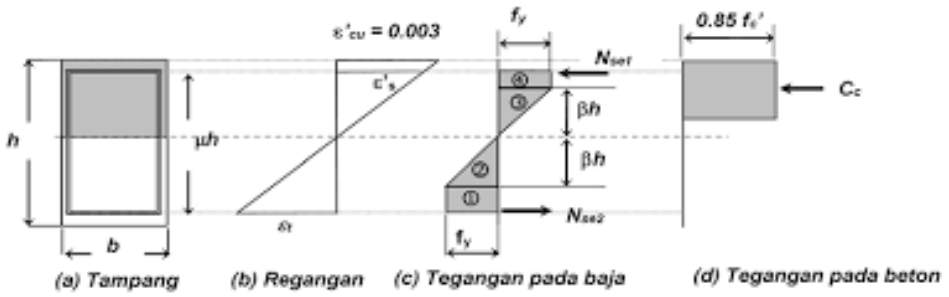
1. Rencana penggunaan baja ringan menggunakan 2 ukuran Hollow yaitu pada daerah tekan menggunakan Hollow dengan ukuran 3x2 dan daerah tarik menggunakan Hollow 4x2.
2. Pada penelitian ini tidak hanya menganalisa kuat lentur tetapi juga menganalisa tegangan dan regangan yang terjadi.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Beton bertulang

Pada dasarnya beton bertulang merupakan gabungan logis dari dua jenis bahan/ material yaitu beton polos dan tulangan baja. Beton polos merupakan bahan yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi memiliki kekuatan tarik yang rendah. Sedangkan tulangan baja akan memberi kekuatan tarik yang besar sehingga tulangan baja akan memberi kekuatan tarik yang diperlukan. Dengan adanya kelebihan masing-masing elemen tersebut, maka konfigurasi antara beton dan tulangan baja diharapkan dapat saling bekerja sama dalam menahan gaya-gaya yang bekerja dalam struktur tersebut, dimana gaya tekan ditahan oleh beton, dan ditarik ditahan oleh tulangan baja.

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 di desain 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



Gambar 3. 1 Grafik Tegangan-Regangan Beton Tulangan Rangkap

Berdasarkan diagram di atas, maka nilai momen nominal (Mn) untuk balok beton tulangan tunggal dapat dilihat dalam persamaan berikut:

Cc = 0,85 x f'c x a x b (3.1)

Ts = A_s x fy (3.2)

Mn = Cc x (d - a/2) (3.3)

Mn = 0,85 x f'c x a x b x (d - $\frac{a}{2}$) (3.4)

Atau

Mn = Ts x (d - a/2) (3.5)

Mn = As x fy x (d - a/2) (3.6)

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

Cc = As' x fs (3.7)

Mn = Cc (d - $\frac{a}{2}$) + Cs (d-d') (3.8)

Mn = 0,85 x f'c x b x a (d - $\frac{a}{2}$) + A's x f's (d-d') (3.9)

3.2 Bahan Penyusun Beton Bertulang

Unsur utama penyusun beton adalah semen, air, agregat. Agregat disini terdiri dari agregat halus yang umumnya menggunakan pasir dan agregat kasar yang umumnya menggunakan batu kerikil. Selain itu kadang-kadang juga ditambahkan material campuran (admixture). Semen dan air membentuk pasta pengikat yang akan mengisi rongga dan mngeras di antara butir-butir pasir dan agregat, sedangkan akan menentukan kekuatan dan kualitas beton.

3.2.1 Semen

Semen merupakan suatu jenis bahan yang memiliki sifat yang adesif dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat. Dalam hal ini bahan semen akan menjadi keras karena adanya faktor air, yang kemudian dinamakan semen hidraulis (*hydraulic cement*).

Semen hidrolik yang biasa digunakan pada beton adalah semen portland (*Portland cement*) yang umumnya membutuhkan sekitar 14 hari untuk mencapai kekuatan yang cukup dan membutuhkan waktu 28 hari untuk mencapai kekuatan rencana.

3.2.2 Agregat

Pada material beton, agregat memenuhi sekitar 75% dari isi total beton, sehingga perilaku beton sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat agregat. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya agregat biasanya terdiri dari 2 macam yaitu agregat halus yang umumnya berupa pasir dan agregat kasar yang pada umunya berupa kerikil. Agregat halus adalah bahan yang lolos saringan No. 4 (lebih kecil dari 3/16 inchi, berdasarkan ASTM). Dan agregat kasar adalah bahan-bahan yang berukuran lebih besar.

3.2.3 Air

Air merupakan bahan utama dalam campuran beton karena air yang mengakibatkan partikel-pertikel semen saling mengikat baik mengikat antar partikel maupun dengan tulangan baja.

3.2.4 Tulangan baja

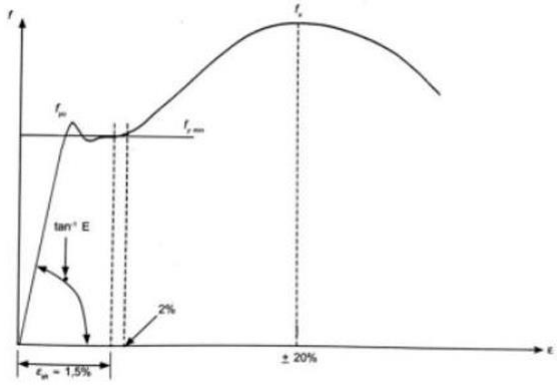
Tulangan baja merupakan elemen yang sangat penting dalam proses pembuatan beton bertulang karena berperan dalam menentukan kekuatan struktur konstruksi. Dalam perancangan beton bertulang, ada dua atribut fisik yang krusial dari tulangan baja yang harus diperhatikan, yaitu modulus elastisitas (Es) dan tegangan leleh (fy). Salah satu metode yang digunakan untuk mengukur tegangan leleh pada material baja adalah dengan merujuk pada standar SII 0136-84. Tegangan leleh pada baja adalah titik di mana baja mulai mengalami peningkatan tegangan tanpa adanya penambahan regangan lebih lanjut. Sementara itu, modulus

elastisitas baja adalah kemiringan awal dari kurva tegangan-regangan dalam wilayah elastis.

SNI 03-2846-2002 menetapkan bahwa modulus elastisitas material baja harus memiliki nilai sekitar 200 Gpa atau setara dengan 200.000 Mpa. Menurut SNI 2052-2017, ada dua jenis tulangan baja, yaitu tulangan ulir (deformed) dan tulangan polos (*plain*). Namun, melalui perubahan dalam pasal 20 pada SNI 2847-1019, kini tulangan dan kawat nonprategang harus memiliki ulir, kecuali jika digunakan kawat polos atau batang sebagai tulangan spiral yang tetap diizinkan.

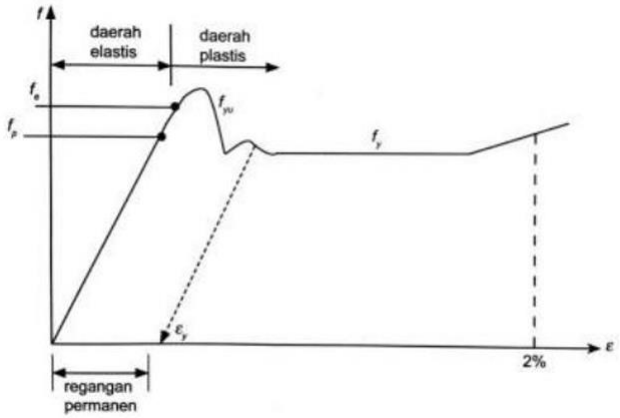
Penting untuk dicatat bahwa komponen logam lainnya, seperti baut angkur, pelat ring, atau baja polos yang digunakan dalam joint konstruksi, umumnya tidak dianggap sebagai bagian dari tulangan baja. Dalam proses perancangan struktur beton bertulang, pemahaman yang mendalam tentang karakteristik mekanik baja yang unik, seperti modulus elastisitas (Es) dan tegangan leleh (fy), sangatlah krusial (Setiawan, 2008). Untuk memahami sifat mekanik dari baja tulangan, uji tarik adalah metode utama yang digunakan. Uji tarik memberikan data yang akurat dan memungkinkan pemahaman yang mendalam tentang karakteristik mekanik material baja. Di sisi lain, uji tekan tidak memberikan data yang akurat karena kuat tekan baja yang relatif rendah dapat mengakibatkan terjadinya tekuk pada tulangan baja

Berikut merupakan kurva tegangan-regangan material baja yang dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan 3.3.



Gambar 3. 2 Grafik korelasi Tegangan-Regangan

(Sumber : Setiawan, 2008)



Gambar 3. 3 Daerah Grafik Tegangan-Regangan

(Sumber : Setiawan, 2008)

3.2.5 Baja ringan

Baja ringan adalah materi yang terbuat dari carbon steel dengan tingkat karbon berkisar antara 0.05% hingga 0.25% dari berat totalnya. Tingkat karbon yang rendah ini sering disebut sebagai baja karbon rendah, sementara tingkat karbon antara 0.30% hingga 2.0% dikenal sebagai baja karbon tinggi. Jumlah karbon yang rendah ini mengindikasikan bahwa baja ringan memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan dengan baja karbon tinggi. Baja ringan memiliki berbagai bentuk yang berbeda dan digunakan untuk tujuan tertentu masing-masing.

Menurut (dewi, 2021) baja ringan mempunyai kelebihan dan kekurangnnya sebagai berikut.

a. Kelebihan baja ringan

1. Meskipun memiliki bobot yang rendah, baja ringan memiliki kekuatan tarik yang tinggi.
2. kuat dan memiliki daktilitas yang baik.
3. Karakteristiknya seragam karena diproduksi secara masal di pabrik
4. Memiliki umur pakai yang lebih tahan lama karena tahan terhadap rayap
5. Baja ringan tidak mudah berkarat

6. Proses pemasangan baja ringan tidak memakan waktu yang lama

b. Kekurangan baja ringan

1. baja ringan memiliki harga material yang mahal
2. Tidak mudah menyatu dengan beton
3. Lebih cepat roboh jika salah pemasangannya
4. Tidak bisa mengubah dimensi karena sudah di tetapkan

3.3 perencanaan campuran beton

Perencanaan proporsi campuran beton memiliki tujuan untuk menentukan komposisi dan perbandingan bahan-bahan yang digunakan dalam beton. Proporsi campuran ini ditentukan melalui proses perancangan beton. Tujuan utama dari perencanaan campuran beton adalah untuk mencapai kualitas beton yang sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk perencanaan campuran beton adalah metode yang dijelaskan dalam SNI 03-2834-2000. Berikut adalah langkah-langkah yang diterapkan dalam perencanaan campuran beton tersebut.

1. Kuat tekan beton yang akan di rencanakan umur 28 hari (f'c) disyaratkan adalah kuat tekan yang ditetapkan oleh perencana struktur (berdasarkan benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm,tinggi 300 mm)
2. Nilai standar deviasi Menetapkan nilai standar deviasi (SD) mengindikasikan bahwa semakin banyak uji yang dilakukan, standar deviasi akan semakin kecil. Jika data lapangan tidak tersedia, nilai target f'cr harus dipilih kurang dari (f'c + 12 Mpa).

Tabel 3. 1 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)

3. Nilai tambah (M) dapat di hitung dengan persamaan (3.10) berikut digunakan untuk kuat tekan rencana

   M = 1,64 x S_r (3.10)

   Dengan :

   M = Nilai Tambah (Mpa)

   1,64 = Tetapan statistic

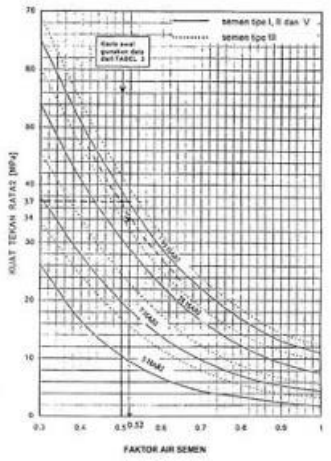
   S_r = Deviasi standar rencana (Mpa)

4. Tipe semen yang akan digunakan ditentukan.
5. Jenis agregat yang akan digunakan untuk pengujian ditentukan.
6. Nilai faktor air semen (FAS) ditentukan menggunakan table sebagai berikut.

Tabel 3. 2 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan FAS, 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 Portlans tipe I semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	17	23	23	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portlans tipe I semen tahan sulfat Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

(Sumber : SNI 03-2834-2000)



Gambar 3. 4 Grafik Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150mm, tinggi 30mm)

7. Nilai maksimum FAS dan minimum jumlah semen ditentukan berdasarkan table 3.3 berikut.

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

Lokasi	Jumlah Semen minimum per m3 beton (Kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton didalam ruang bangunan: a. Keadaan keliling non korosif b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosid	 275 325	 0,60 0,52
Beton diluar ruangan bangunan : a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	 325 275	 0,60 0,60
Beton masuk kedalam tanah		

a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	325	0,55 Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laur		Tabel 6

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

8. Memeriksa *workability* adukan beton dengan menentukan nilai *slump.*
9. Maksimum ukuran agregat ditentukan.
10. Kadar air bebas agregat dihitung menggunakan persamaan 3.11 sebagai berikut.

    Kadar air bebas = $\frac{2}{3}wh + \frac{2}{3}wk$ (3.11)

    Nilai wh dan wk didapatkan berdasarkan table berikut.

Tabel 3. 4 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m^3) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

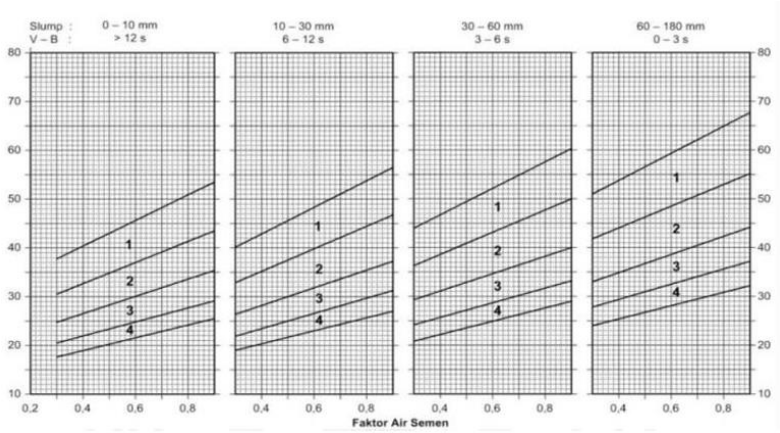
Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran besar butir Maksimum agergat	Jenis agregat	-	-	-	-
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

11. Nilai kadar semen untuk per m^3 dihitung menggunakan persamaan 3.12 sebagai berikut.

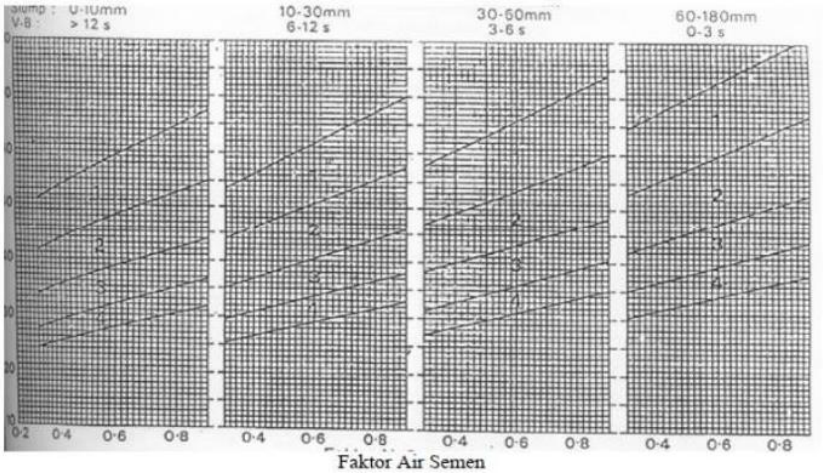
    Jumlah semen per m^3 beton = $\frac{Kadar\ air\ bebas}{FAS}$ (3.13)

12. Presentasi agregat kasar dan agregat halus di tentukan menggunakan grafik berikut sesuai dengan ukuran butir maksimal.



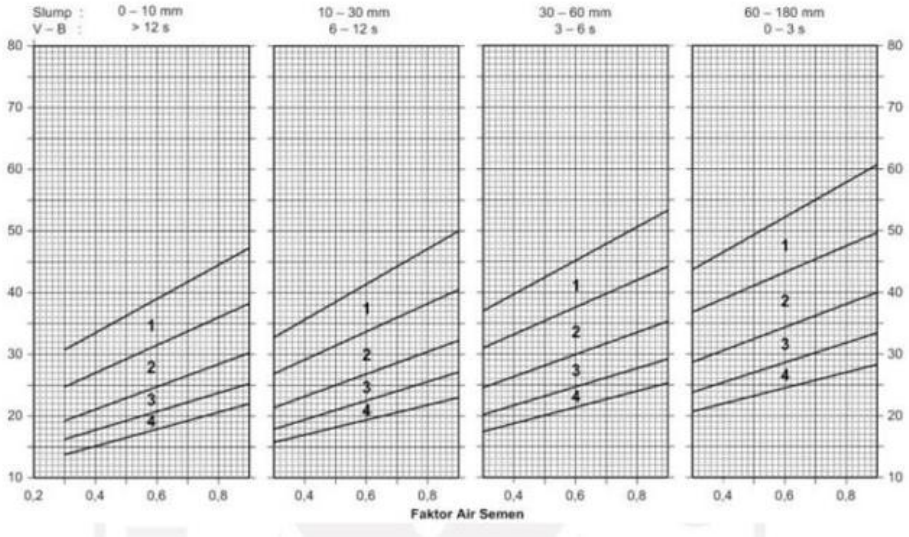
Gambar 3. 5 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimal 10 mm)

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 3. 6 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimal 20 mm)

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



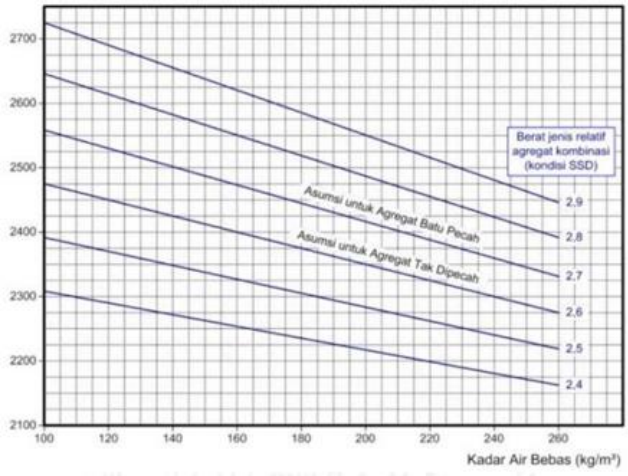
Gambar 3. 7 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimal 40 mm)

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

13. Berat jenis relatif dihitung dengan persamaan 3.13 sebagai berikut.

BJ_{AG} = (%AH X BJ_{Ah}) + (%Ak X BJ_{Ak}) (3.13)

14. Nilai dari berat isi beton ditentukan dengan grafik di bawh ini.



Gambar 3. 8 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

15. Kadar agregat gabungan dihitung dengan persamaan 3.14 sebagai berikut.

AG = Berat isi beton – Kadar semen – Kadar air (3.14)

16. Kadar agregat kasar dihitung dengan persamaan 3.15 sebagai berikut.

Berat agregat kasar = agregat kasar (%) x AG (3.15)

17. Kadar agregat halus dihitung dengan persamaan 3.16 sebagai berikut.

Berat agregat halus = agregat halus (%) x AG (3.16)

3.4 Berat Volume

Definisi berat volume atau berat isi beton (unit weight) berdasarkan SNI 1973 2008 ialah perbandingan antara berat suatu benda per satuan volume benda tersebut. Berat volume dapat dirumuskan sebagai berikut. Berat isi teoritis beton biasanya ditentukan di laboratorium yang nilainya diasumsikan tetap untuk semua campuran yang dibuat dengan komposisi dan bahan yang identik. Berat isi teoritis beton (kg/m3).

$$D = \frac{m}{V} \quad (3.17)$$

Dengan ,

D = berat volume (kg/m3)

M = berat benda (kg)

V = volume benda (m3)

3.5 Pengujian Benda Uji

Pengujian yang akan dilakukan akan dilakukan, yaitu uji Tarik baja salah satu uji mekanik untuk mengetahui sifat mekanis baja, seperti kekuatan tarik, modulus elastisitas, regangan, dan ketangguhan. 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 fc beton. Uji lentur di gunakan dalam memperoleh daya lenturpada beton.

1. Uji Tarik Baja

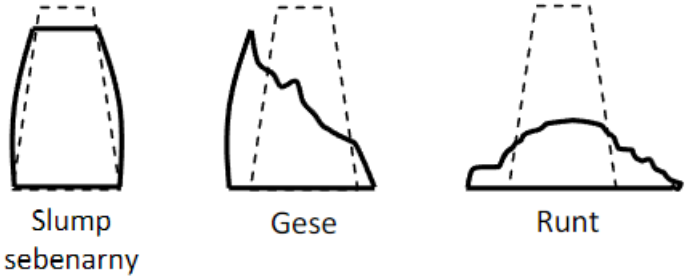
   Faktor-faktor yang memengaruhi kekuatan tarik mencakup jenis dan dimensi material, yang dapat membedakan momen yang terjadi berdasarkan perbedaan kuat leleh dan diameter. Berikut merupakan persamaan dalam mencari kuat tarik baja.

   $$Fy = \frac{Py}{A} \quad (3.17)$$

   $$Fu = \frac{Pu}{A} \quad (3.18)$$

2. Uji *Slump*

Slump merupakan tinggi dari adukan dalam kerucut terpancung terhadap tinggi adukan setelah cetakan diambil.*Slump* merupakan pedoman yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecekan suatu adukan beton, semakin tinggi tingkat kekenyalan maka semakin mudah pengerjaannya (nilai workability tinggi).



Gambar 3. 9 Bentuk hasil pengujian *Slump*

(Sumber : Fadli M.)

Bila tidak terjadi *crumbling* atau *collapse* maka slump adalah indikasi kelembutan (*softness*) sebagai lawan kekakuan (*stiftness*) dari campuran. Runtuh (*collapse*) sering terjadi pada beton yang kurang pasir (*lean*), menandakan rendahnya kohesi dan rendahnya kemampuan beton segar untuk berdeformasi plastis. Uji slump berguna untuk mengecek adanya perubahan dari kadar air, bila material dan gradasi agregat adalah seragam. Bila jumlah air adalah konstan maka slump test berguna untuk menunjukkan adanya perbedaan pada gradasi atau adanya perbandingan berat yang salah.

3. Uji Tekan Beton

Uji kuat tekan beton mengukur beban per satuan luas yang menyebabkan kerusakan pada benda uji beton ketika diberi tekanan melebihi kuat desak yang dimiliki oleh beton itu sendiri, yang berasal dari mesin uji.

F’c bukanlah tegangan saat benda uji mengalami kehancuran, melainkan merupakan nilai maksimum tegangan yang biasanya terjadi ketika beton mengalami tegangan desak. Nilai $\varepsilon c = \pm 0{,}002$, dan nilai f’c akan menurun seiring dengan peningkatan tegangan hingga benda uji hancur pada nilai

regangan ε'c = 0,003. Untuk menghitung kuat tekan beton f'c, dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.19)$$

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.

$$\sigma = \frac{p \,.\, l}{b.h^2} \quad (3.20)$$

3.4 Kuat Lentur

Kekuatan lentur pada beton mencerminkan nilai maksimum lentur dari suatu benda uji. untuk mengukur kekuatan lentur ini menggunakan metode, yaitu melalui sistem pembebanan dua titik (sesuai dengan SNI 03-4431-1997 seperti yang terlihat pada Gambar 3.10). Dari hasil uji kekuatan lentur ini, diperoleh informasi mengenai beban maksimum, tingkat lendutan, dan pola retak pada balok.

Gambar 3. 10 Model Pembebanan Balok Dengan Sistem Dua Titik

2.4 Lendutan, Keruntuhan, Kekakuan

Kapasitas maksimum defleksi, keruntuhan, dan kekakuan adalah tiga faktor beton yang dapat digunakan untuk memahami respons balok beton bertulang terhadap lendutan dan keruntuhan, seiring dengan tingkat kekakuan yang dimilikinya. Pengetahuan mengenai aspek-aspek ini membantu dalam menilai

karakteristik balok beton bertulang sebagai salah satu elemen struktural dalam bangunan.

1. Lendutan

Menurut Puluhulawa (2011), perubahan bentuk atau defleksi pada balok yang terjadi dalam arah sumbu y, seperti yang terlihat pada Gambar 3.6, disebabkan oleh pembebanan vertikal pada balok atau batang. Deformasi pada balok merujuk pada perubahan bentuk balok setelah mengalami pembebanan. Pengukuran defleksi dapat dilakukan dari permukaan netral awal hingga posisi netral setelah terjadi deformasi. Beberapa faktor yang memengaruhi terjadinya defleksi mencakup:

a. Kekakuan batang

   Apabila kekuatan suatu balok tinggi, maka lendutan atau defleksi yang muncul pada balok akan minim. Sebaliknya, bila kekakuan balok rendah, lendutan atau defleksi yang terjadi akan menjadi lebih signifikan.

b. Besar kecilnya gaya yang diterima

   Hubungan antara defleksi pada balok dan gaya yang diterima adalah sebanding. Semakin kecil beban yang diterima, defleksi yang terjadi pun semakin kecil, dan sebaliknya.

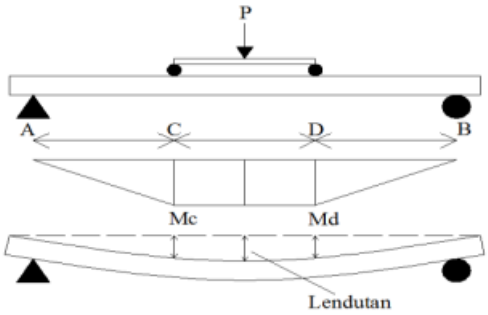
c. Jenis tumpuan yang diberikan

   Setiap jenis tumpuan memiliki jumlah dan arah reaksi yang berbeda. Oleh karena itu, defleksi yang terjadi pada penggunaan tumpuan yang berbeda tidak akan serupa. Apabila suatu tumpuan memiliki lebih banyak reaksi yang bertentangan dengan gaya beban, maka defleksi pada tumpuan rol akan lebih besar daripada tumpuan sendi, dan defleksi pada tumpuan sendi akan lebih besar dibanding tumpuan jepit.

d. Jenis beban yang terjadi pada batang

   Distribusi beban merata dan beban titik menghasilkan kurva defleksi yang berbeda. Pada distribusi beban merata, kemiringan pada bagian batang yang paling dekat lebih besar daripada kemiringan pada beban titik. Perbedaan ini disebabkan oleh fakta bahwa seluruh batang menerima beban pada distribusi merata, sedangkan pada beban titik, beban hanya terjadi pada titik tertentu.

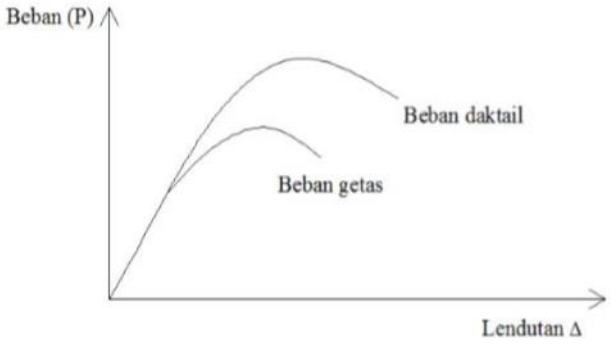
Seperti yang diungkapkan oleh Spiegel dan Limbrunner (1991) seperti yang dikutip oleh Septian (2010), ketika suatu beban menyebabkan lentur, balok pasti akan mengalami defleksi atau lenturan, sebagaimana terlihat pada Gambar 3.13. Meskipun telah diatur dan dianggap aman dari segi lentur dan geser, kefleksibelan yang berlebihan pada suatu balok dapat membuatnya tidak memenuhi standar kelayakan. Oleh karena itu, evaluasi terhadap defleksi balok merupakan salah satu aspek penting dalam proses desain, sebagaimana tergambar pada Gambar 3.11 berikut ini.



Gambar 3. 11 Momen dan Lendutan pada Tampang Memanjang balok

(Sumber: Sipigel dan Limbrumer 1991)

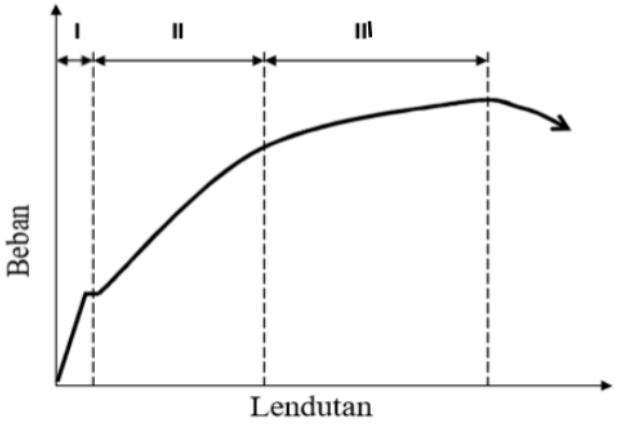
Park dan Paulay (1975) dalam Septian (2010) mengemukakan hubungan beban dan lendutan akibat beban seperti pada Gambar 3.12.



Gambar 3. 12 Hubungan Beban dan Lendutan

(Sumber: Park dan Paulay, 1975)

Hubungan beban dan lendutan balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinier sebelum terjadi rupture seperti pada diagram Gambar 3.13.



Gambar 3. 13 Grafik Hubungan antara Beban-Lendutan pada Balok

(Sumber: Nawy,1998)

2. Keruntuhan

Pada keruntuhan balok terdapat 3 jenis keruntuhan balok tergantung pada sifat – sifat penampangnya sebagai berikut.

a. Keruntuhan Tekan (*over reinforced concrete*)

Pada keruntuhan tekan ini, beton hancur sebelum baja tulangan leleh. Jenis keruntuhan ini terjadi pada balok dengan rasio tulangan besar, sehingga pada saat beban yang bekerja maksimum, baja tulangan belum mencapai regangan lelehnya sedangkan beton sudah mencapai regangan maksimumnya yaitu 0.003. Balok dengan kondisi keruntuhan tekan ini bersifat getas, sehingga pada saat beton mulai hancur baja tulangannya masih kuat, sehingga lendutan pada balok relatif tetap. Tetapi jika balok ditambahkan beban yang besar, maka baja tulangan akan meleleh dan dapat menyebabkan keruntuhan secara tiba-tiba, tanpa adanya peringatan atau tanda-tanda tentang lendutan yang membesar pada balok.

b. Keruntuhan seimbang (*balance*)

Pada penampang balok dengan keruntuhan seimbang, keadaan beton hancur dan baja tulangan leleh terjadi bersamaan, sehingga pada saat beban yang bekerja maksimum baja tulangan dan beton hancur secara bersamaan. Hal ini berarti regangan tekan beton telah mencapai regangan maksimum yaitu 0.03 dan regangan tarik baja tulangan telah mencapai leleh pada saat yang sama,

atau εc’ = εcu’ dan εs = εy terjadi pada saat yang sama. Karena beton dan baja tulangan mengalami kerusakan pada saat yang sama, maka kekuatan beton dan baja tulangan dapat dimanfaatkan sepenuhnya, sehingga penggunaan material beton dan baja tulangan tersebut menjadi lebih efisien. Sistem perencanaan beton bertulang yang seperti ini merupakan sistem perencanaan beton bertulang yang ideal, tetapi sulit dipraktikan di lapangan.

c. Keruntuhan Tarik (*under reinforced concrete*)

   Pada keadaan penampang beton dengan kondisi keruntuhan tarik, baja tulangan sudah leleh sebelum beton hancur. Jenis keruntuhan seperti ini terjadi pada balok dengan rasio tulangan kecil, sehingga pada saat beban yang bekerja maksimum baja tulangan sudah mencapai regangan lelehnya sedangkan beton belum hancur (belum mencapai regangan maksimumnya yaitu sebesar 0.003). Karena kerusakan terjadi pada baja tulangan yang menahan beban tarik lebih dulu dan baja tulangan bersifat liat, maka keruntuhan beton seperti ini kadang disebut dengan keruntuhan liat. Keruntuhan jenis ini memberi keuntungan karena pada saat baja mulai leleh betonnya masih kuat (belum hancur), sehingga dapat terjadi lendutan pada balok. Jika balok ditambahkan beban yang lebih besar maka lendutan pada balok semakin besar dan pada akhirnya akan runtuh. Lendutan yang ditimbulkan oleh balok ini merupakan peringatan sebelum runtuh.

Pada dasarnya ada tiga jenis keretakan pada balok di antaranya sebagai berikut.

a. Retak lentur (*flexural crack*), terjadi di daerah yang mempunyai nilai momen lentur lebih besar dan gaya geser kecil. Arah retak terjadi hampir tegak lurus pada sumbu balok.
b. Retak geser (*shear crack*), terjadi pada bagian balok yang sebelumnya terjadi keretakan lentur. Retak geser lentur merupakan perambatan retak miring dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya.
c. Retak geser pada bagian balok (*web shear crack*), yaitu keretakan miring yang terjadi pada daerah garis netral penampang dengan gaya geser maksimum dan tegangan aksial sangat kecil.

3. Kekakuan

Kekakuan untuk struktur merupakan suatu yang penting. Pembatasan kekakuan berguna untuk menjaga konstruksi agar tidak melendut lebih dari lendutan yang disyaratkan. Kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk memperoleh satu unit *displacement*. Nilai kekakuan merupakan sudut kemiringan dari hubungan antara beban dan lendutan. Makin kaku suatu struktur makin besar nilai kekakuannya. Sehingga dapat dituangkan rumus sebagai berikut.

$$K = \frac{p}{\Delta} \qquad (3.21)$$

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimental yaitu dengan mengadakan percobaan secara langsung untuk mendapatkan suatu data atau hasil yang menghubungkan variable-variabel yang di selidiki. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Metodologi penelitian ini dimulai dari mengetahui masalah, pengumpulan data, pembuatan sampel, pengujian, analisis data serta mendapatkan hasil dari analisis data kemudian kesimpulan dan saran.

4.2 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan tujuan mempermudah penulis dalam menganalisis dampak penggunaan baja ringan sebagai tulangan dalam balok beton bertulang. Dalam penelitian ini, terdapat dua jenis data, yakni data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

   Data primer adalah informasi yang diperoleh oleh penulis secara langsung melalui proses pengujian. Jenis data ini mencakup hasil-hasil seperti nilai slump, beban maksimum yang dapat ditanggung, luas penampang, dan bobot dari balok beton.

2. Data Sekunder

   Data sekunder dalam penelitian ini merujuk kepada informasi yang diperoleh oleh penulis dari berbagai sumber media, termasuk buku, jurnal, atau arsip yang telah dipublikasikan dan tersedia untuk umum. Penulis memanfaatkan data sekunder, seperti Standar Nasional Indonesia (SNI) dan jurnal penelitian yang berkaitan dengan topik penelitian ini.

4.3 Bahan dan Benda uji

4.3.1 Bahan yang digunakan

1. Semen Portland

   Semen Portland yang dipakai adalah varian tipe 1 dengan merek tiga roda dalam proses pembuatan balok beton bertulang. Berikut ilustrasi semen tersebut pada gambar 4.1.

Gambar 4. 1 Semen portland
(Sumber : dokumentasi pribadi)

2. Agregat

   Agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar dan halus. Agregat halus yang digunakan berasal dari wilayah Merapi, sementara agregat kasar diperoleh dari daerah Clereng, Kulonprogo. Silakan lihat gambar dari agregat kasar dan halus tersebut pada gambar 4.2 dan gambar 4.3.

Gambar 4. 2 Agregat kasar

(Sumber : dokumentasi pribadi)

Gambar 4. 3 Agregat halus

(Sumber : dokumentasi pribadi)

3. Air

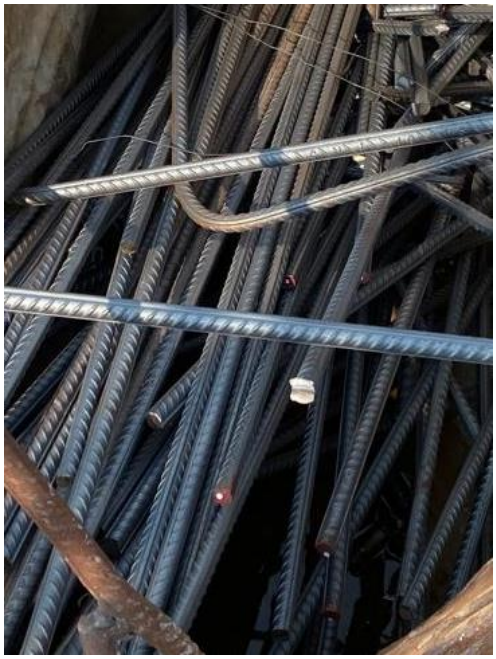
   Dalam penelitian ini, air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. seperti pada gambar 4.4.

Gambar 4. 4 Air

(Sumber : dokumentasi pribadi)

4. Baja tulangan

   Baja tulangan yang digunakan terdiri dari baja ulir berdiameter 10 mm sebagai tulangan utama dan baja polos berdiameter 6 mm. Seperti yang tergambar pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Baja tulangan

(Sumber : dokumentasi pribadi)

5. Baja ringan

   Baja ringan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah jenis baja ringan tipe *hollow*, seperti yang terlihat pada ilustrasi dalam gambar 4.6 di bawah ini.

Gambar 4. 6 Baja ringan

(Sumber : dokumentasi pribadi)

4.3.2 Benda uji

Benda uji yang digunakan adalah berbentuk balok dengan dimensi 150x200x1580 mm

4.4 Peralatan penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari berbagai macam peralatan sebagai berikut.

1. Timbangan

   Pada penelitian ini penulis menggunakan timbangan *ohaus* berikut timbangan *ohaus* pada gambar

Gambar 4. 7 Timbangan *ohaus*

(Sumber : dokumentasi pribadi)

2. Saringan agregat

   Saringan agregat berfungsi untuk pengujian Analisa lolos saringan terhadap agregat halus dan agregat kasar seperti pada gambar

Gambar 4. 8 Saringan agregat

(Sumber : dokumentasi pribadi)

3. Cetakan silinder

   Cetakan silinder yang digunakan berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm seperti pada gambar berikut

Gambar 4. 9 Cetakan silinder

(Sumber : dokumentasi pribadi)

4. Alat ukur

   Alat ukur yang digunakan yaitu mistar dan meteran untuk mengukur dimensi benda uji dan untuk mengetahui nilai *slump* seperti pada gambar

Gambar 4. 10 Mistar

(Sumber : dokumentasi pribadi)

5. Oven

   Oven dalam penelitian ini bertujuan untuk pengujian berat jenis agregat dan juga dapat digunakan dalam pengujian kadar air agregat seperti pada gambar

Gambar 4. 11 Oven

(Sumber : dokummentasi pribadi)

6. Ember

   Ember berfungsi untuk menampung agregat, semen, air. Dan juga dapat menampung material lainnya seperti pada gambar

Gambar 4. 12 Ember

(Sumber : dokumentasi pribadi)

7. Kerucut *Abrams*

   Kerucut *Abrams* digunakan pada saat pengujian slump. Seperti pada gambar berikut

Gambar 4. 13 Kerucut *abrams*

(Sumber : dokumentasi pribadi)

8. Penumbuk

   Penumubuk berfungsi untuk memadatkan campuran beton seperti pada gambar

Gambar 4. 14 Penumbuk

(Sumber : dokumentasi pribadi)

9. *Mixer* beton

   Mixer beton berfungsi untuk mencampur/mengaduk bahan-bahan dalam *mix* desain seperti pada gambar berikut

Gambar 4. 15 *Mixer* beton

(Sumber : dokumentasi pribadi)

10. Sekop

    Sekop bertujuan untuk memasukan agregat ke dalam cetakan seperti pada gambar berikut

Gambar 4. 16 Sekop

(Sumber : dokumentasi pribadi)

11. Palu karet

    Palu karet berfungsi untuk membantu pemadatan beton saat campuran beton dimasukan ke dalam cetakan, caranya dengan memukul bagian luar cetakan secara merata berikut gambar palu karet

Gambar 4. 17 Palu karet

(Sumber : dokumentasi pribadi)

12. Alat kuat lentur *(Flexural Test)*

    Alat uji kuat lentur adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur kemampuan suatu material dalam menahan beban lentur atau pembengkokan sebelum mengalami kerusakan atau kegagalan. Ini sangat penting dalam berbagai aplikasi rekayasa dan konstruksi untuk memastikan bahwa material yang digunakan memenuhi standar kekuatan dan keselamatan.

Gambar 4. 18 Alat kuat lentur *(flexural test)*

(Sumber : dokumentasi pribadi)

13. *compresing testing machine* (CTM)

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

Gambar 4. 19 *Compresing Testing Machine* (CTM)

(Sumber : dokumentasi pribadi)

4.5 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan penelitian seperti berikut:

1. Tahap I (Persiapan Bahan)

   Pada tahapan ini dipersiapkan segala bahan tetapi juga harus diperhatikan bahan-bahan apakah sudah sesuai mutu atau belum agar rencana akan berjalan sesuai yang diinginkan. Kemudian juga dipersiapkan material khusus yaitu bahan penyusun beton yang akan dicampur menjadi beton segar yaitu agregat halus, agregat kasar, air dan semen

2. Tahap II (Pembersihan Material)

   Pada tahapan pembersihan ini agregat halus dan agregat kasar harus di bersihkan terlebih dahulu agar memenuhi persyaratan yang diperlukan, jika agregat halus dan agregat kasar tidak dibersihkan akan mempengaruhi kualitas beton nantinya.

3. Tahap III (Pengujian Agregat)

   Pada tahapan ini agregat halus dan agregat kasar yang akan dilakukan pada pengujian ini akan di lakukan pemeriksaan dan pengujian, berikut macam-macam pengujiannya.

a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus
b. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar
c. Pengujian analisa saringan agregat halus
d. Pengujian analisa saringan agregat kasar
e. Pengujian berat volume gembur agregat halus
f. Pengujian berat volume gembur agregat kasar

4. Tahap IV (Perhitungan Rencana Campuran)

   Pada tahapan ini perencanaan campuran beton (*mix design)* dengan metode SNI 03-2834-2000 dengan dasar hasil pengujian dari masing-masing bahan penyusun beton (agregat kasar dan agregat halus) yang telah di lakukan sebelumnya.

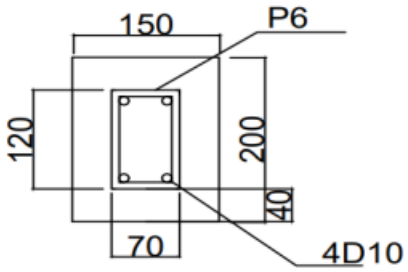
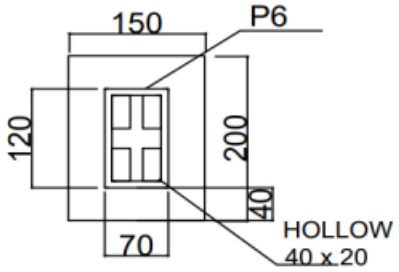
5. Tahap V (Benda Uji)

   Tahapan ini merupakan tahapan pembuatan benda uji dengan 2 jenis yaitu silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm ini untuk mengetahui nilai kuat tekan beton. Kemudian benda uji selanjutnya yaitu balok dengan dimensi lebar 150 mm tinggi 200mm dan bentang 1580 mm ini digunakan utuk pengujian kuat lentur beton. Benda uji ini dibuat di Laboratorium Teknik Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Berdasarkan SNI-2493-2011. Berikut rincian sampel beton pada table

Tabel 4. 1 Rincian Sampel Pengujian Beton

Jenis pengujian	Tulangan	Kode	Bentuk (ukuran mm)	Jumlah Sampel
Kuat tekan	-	BN	Silinder (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	Rencan penulangan
Kuat lentur	Bj - 1	
	Bj - 2	

Tahapan pekerjaan dalam pembuatan benda uji beton adalah sebagai berikut.

a. Benda uji silinder

1. Bahan yang digunakan diukur pada *mix design* berdasarkan SNI-03-2843-2000.
2. Bahan penyusun disiapkan dan peralatan untuk menakar.
3. Bahan penyusun di timbang sesuai *mix design* yang telah dibuat.
4. Bahan penyusun yang sudah ditimbang di masukkan kedalam ember sesuai dengan kebutuhan *mix design* agar mempermudah pencampuran.
5. Disiapkan cetakan silinder kemudian seluruh permukaannya diolesi oli.
6. *Mixer* beton disiapkan dan tempat untuk menuangkan beton segar.
7. Agregat kasar dan agregat halus dimasukkan kedalam *mixer* beton dalam keadaan SSD kemudian dinyalakan dan di aduk sampai merata.
8. Semen dimasukkan kedalam *mixer* beton dan di aduk secara merata
9. Kemudian menuangkan air secara perlahan agar keenceran campuran beton segar dapat di kontrol
10. Melakukan uji *slump*

11. Ketika uji *slump* memenuhi syarat, campuran beton dimasukkan kedalam silinder dengan cara memasukan 1/3 bagian dari silinder dan ditumbuk selama 25 kali, proses ini diulang sampai silinder penuh.
12. Permukaan benda uji silinder diratakan
13. Setelah 24 jam dibuka dari cetakan

b. Benda uji balok

1. Menghitung kebutuhan bahan yang akan digunakan sesuai dengan *mix design* berdasarkan SNI 03-2834-2000.
2. Bekisting balok dipersiapkan dengan dimensi 150 mm x 200 mm x 1580 mm.
3. Bahan penyusun beton disiapkan.
4. Membuat tahu beton untuk selimut beton dengan ukuran tebal 40 mm menggunakan air dan semen.
5. Tulangan baja konvensional dan hollow dirakit sesuai dengan rencana penulangan.
6. Pemasangan tulangan yang telah dirakit kedalam bekisting dan juga tahu beton sebagai selimut beton.
7. Bahan penyusun ditimbang sesuai dengan rencana kemudian di masukkan ke ember agar mempermudah pencampuran.
8. *Mixer* beton disiapkan dan bekisting.
9. Agregat kasar dan agregat halus dimasukkan kedalam *mixer* beton dalam keadaan SSD kemudian dinyalakan dan dicampur sampai merata.
10. Semen dimasukkan kedalam *mixer* beton dan dicampur secara merata
11. Kemudian menuangkan air secara perlahan agar keenceran campuran beton segar dapat di kontrol
12. Melakukan uji *slump*
13. Ketika uji *slump* memenuhi syarat, campuran beton dimasukkan kedalam bekisting dengan cara memasukan 1/3 dari bagian balok dan ditumbuk selama 25 kali dan dipukul dengan palu karet hingga beton merata tanpa ada rongga udara, proses ini diulang sampai bekisting penuh.

6. Tahapan VI (Perawatan Benda uji)

   Perawatan sampel mengikuti panduan dari SNI 2493-2011 mengenai Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. Setelah benda uji silinder dicetak selama 24 jam, bekistingnya dilepas dan diberi kode. Selanjutnya, dilakukan perawatan dengan cara merendamnya dalam kolam selama 28 hari. Untuk benda uji balok, bekisting dilepas setelah 3 hari pencetakan, dan selanjutnya dilakukan perawatan dengan cara menutup balok beton menggunakan karung goni yang dibasahi selama 28 hari.

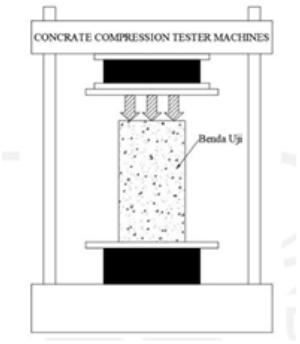
7. Tahapan VII (Pengujian Benda uji)

   Pada tahapan ini dilakukan uji kuat tekan dan uji kuat lentur beton. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

   a. Kuat tekan beton

      Berikut prosedur dalam pengujian kuat tekan beton dengan silinder.

   1. Benda uji dan peralatan yang akan dilakukan.
   2. Benda uji diletakkan dimesin uji tekan beton kemudian mesin dinyalakan dengan beban tambahan secara konstan 3 kN/detik.
   3. Ketika permukaan benda uji tidak rata, maka diperlukan belerang yang dipanaskan hingga mencair lalu dituangkan pada permukaan cetakan yang tidak rata dan tunggu hingga mengeras.
   4. Pembebanan ini dilakukan sampai benda uji tidak mampu menahan beban dan angka beban catat



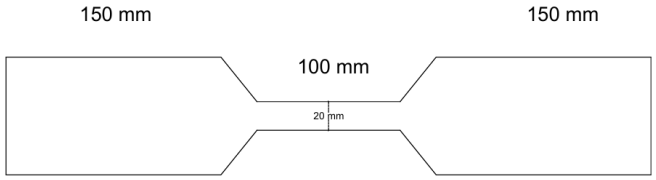
Gambar 4. 20 Sketsa pengujian kuat tekan beton

(Sumber : Yuma, 2023)

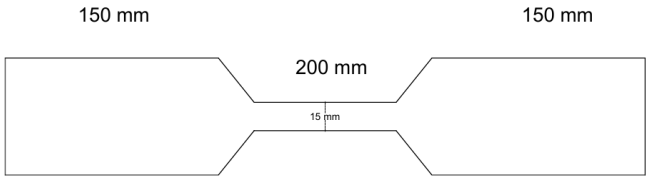
b. Tarik baja

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.



Gambar 4. 21 Sketsa sampel pengujian tarik baja hollow 4x2



Gambar 4. 22 Sketsa sampel pengujian tarik baja hollow 3x2

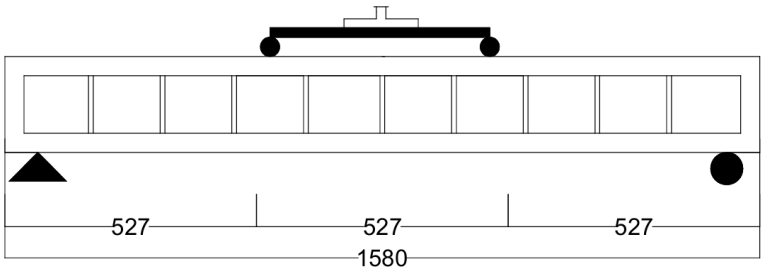
c. Kuat lentur beton

Berikut prosedur dalam pengujian kuat lentur beton menggunakan benda uji balok bertulang.

1. Peralatan dan benda uji disiapkan.
2. Dimensi dan berat balok bertulang diukur.

3. Ditentukan letak tumpuan balok yaitu 1/3 dari kiri dan 1/3 dari kanan.
4. Benda uji diletakkan pada tumpuan alat pengujian
5. Menyalakan mesin pengujian lentur dengan beban ditambahkan secara konstan.
6. Proses ini dilakukan sampai benda uji hancur kemudian angka maksimum beban yang dapat ditahan di catat

Sketsa pengujian kuat lentur beton dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 23 Sketsa pengujian kuat lentur

8. Tahapan VII (Analisa Data)

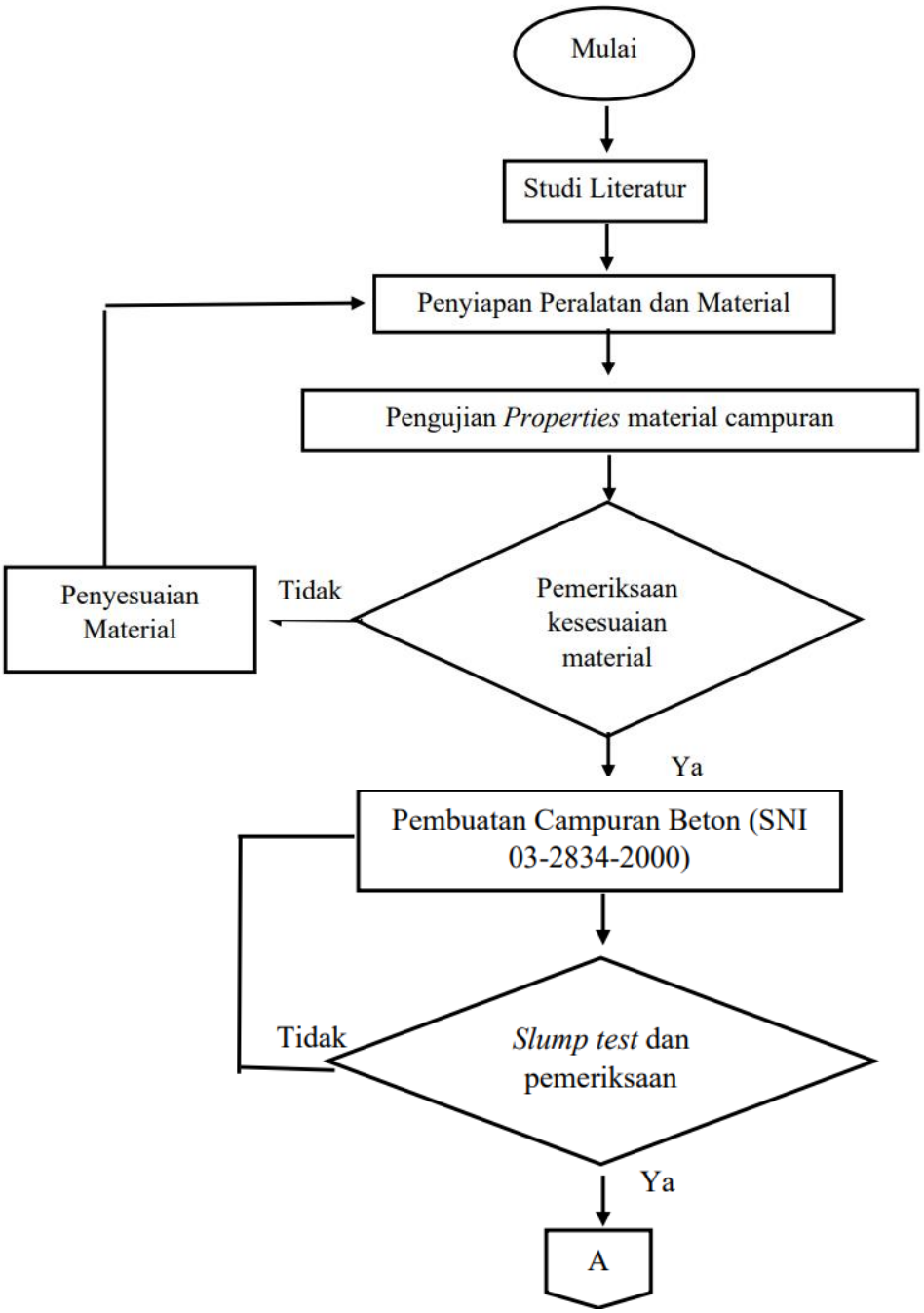
   Pada tahapan ini, dilakukan analisa dan pembahasan data. Data yang berasal dari pengujian benda uji yang telah dilakukan sebelumnya dianalisis untuk mendapatkan kesimpulan. jng

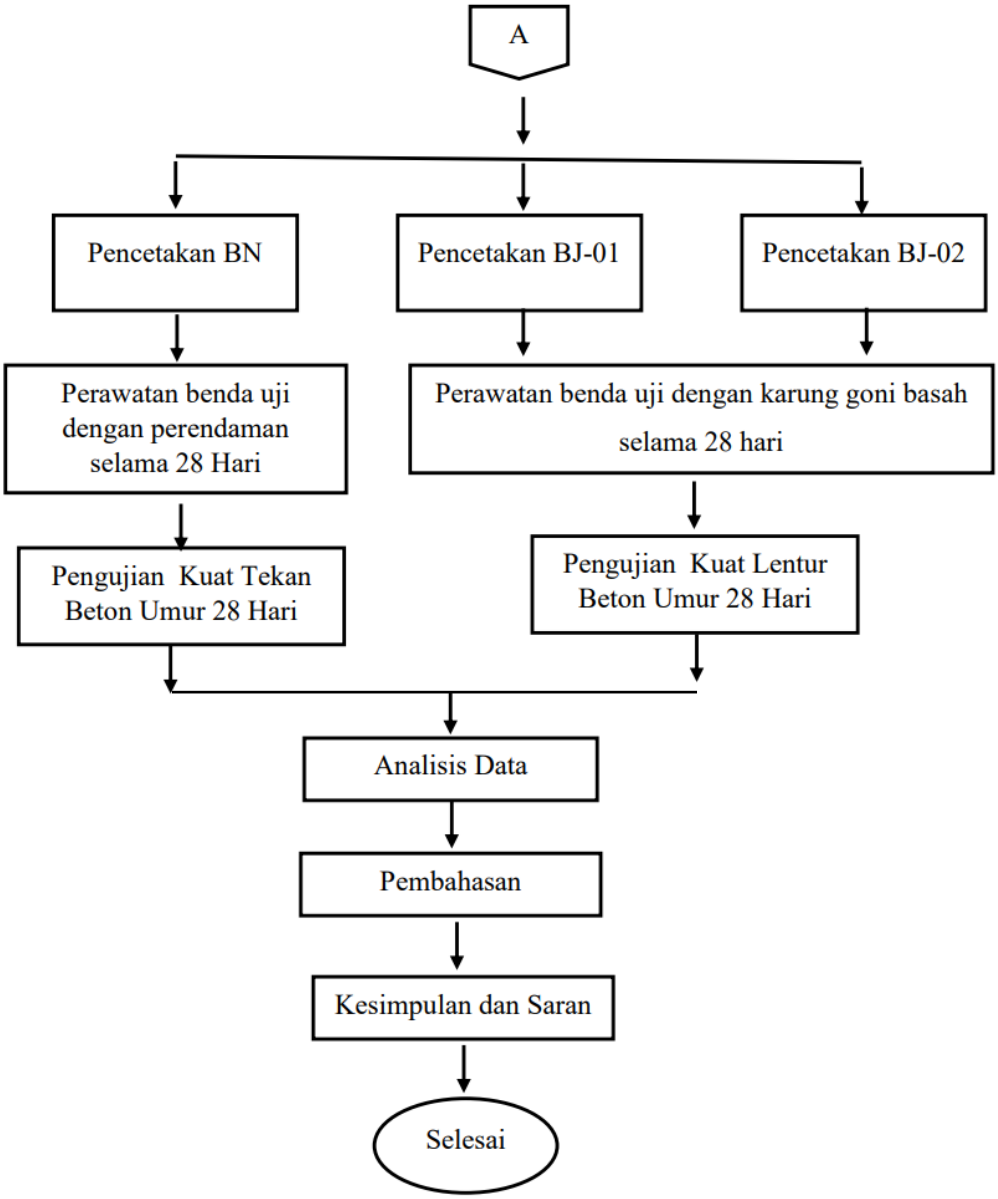
9. Tahapan IX (Kesimpulan)

   Pada tahapan ini, penulis dapat membuat kesimpulan dari analisis data yang telah penulis buat dan penulis dapat memberikan saran. ini adalah tahap penelitian terakhir.

4.6 Bagan Alir Penelitian

Berikut bagan alir penelitian seperti gambar di bawah ini.


Mulai
Studi Literatur
Penyiapan Peralatan dan Material
Pengujian *Properties* material campuran
Pemeriksaan kesesuaian material
Tidak
Penyesuaian Material
Ya
Pembuatan Campuran Beton (SNI 03-2834-2000)
Slump test dan pemeriksaan
Tidak
Ya
A



Gambar 4. 24 Diagram alir

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian material

Pengujian sifat-sifat material atau bahan baku yang digunakan dalam campuran beton dilakukan untuk memahami ciri khas dari masing-masing komponen bahan, baik saat merancang desain campuran maupun saat mengerjakannya di lapangan. Hasil pengujian ini mengacu pada standar SNI 03-2835-2000 mengenai campuran beton.

5.1.1 Uji material Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari sungai Progo kemudian akan dilakukan pengujian untuk menentukan kandungan lumpur (uji lolos saringan 200), volume padat/gembur, berat jenis, penyerapan air, serta 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 x 100%	4,821 %

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, nilai berat jenis curah, berat jenis kering permukaan, berat jenis semu, dan penyerapan air seperti yang tercantum dalam Tabel 5.1 menunjukkan bahwa agregat halus tersebut memenuhi standar yang diperlukan.

2. Uji Modulus Halus Butir Agregat Halus

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

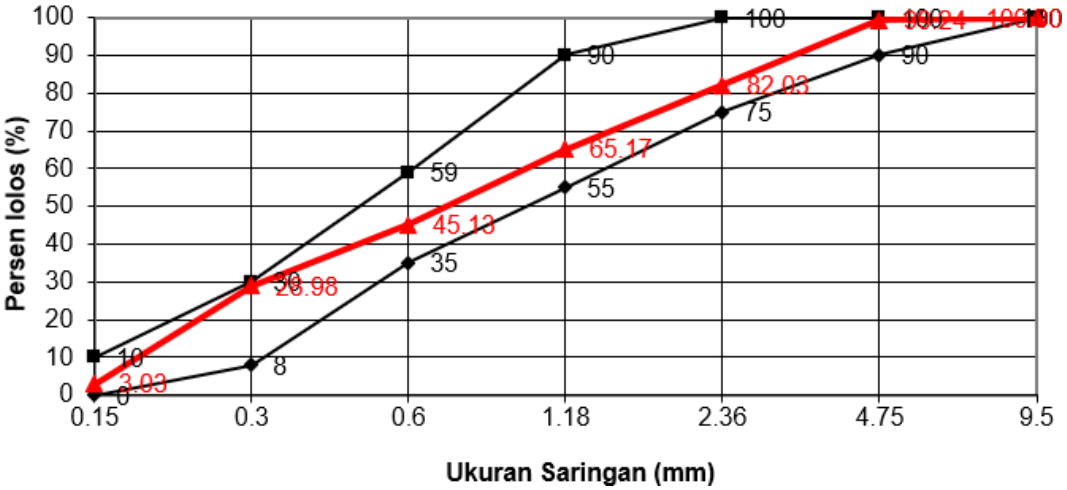
Tabel 5. 2 Uji Modulus Halus Butir Agregat Halus

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	82,03
1.2	225	11,28	18,55	65,17
0.6	575	28,82	47,37	45,13
0.3	233	11,68	59,05	26,98
0.15	697	34,94	93,98	3,03
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 ini dilakukan untuk mengetahui gradasi dari agregat halus. Pengujian modulus halus butir dilakukan untuk mengukur gradasi dari agregat halus. Hasil pengujian menunjukkan bahwa agregat ini memenuhi persyaratan untuk kategori daerah II, yang menandakan bahwa agregat ini termasuk dalam kelompok pasir yang cukup kasar. Kurva distribusi ukuran agregat halus dapat dilihat dalam gambar 5.1 di bawah ini.



Gambar 5. 1 Kurva distribusi 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 diperoleh, kandungan lumpur dalam pasir dari Sungai Progo adalah 2,2%, yang memenuhi persyaratan batas maksimum 5% sesuai dengan ketentuan PUBI-1982 mengenai kandungan maksimum lumpur. Semakin rendah kandungan lumpur, semakin kuat ikatan antar agregatnya, yang dapat berpengaruh pada kualitas campuran beton.

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), cm3	5313,713
Berat volume gembur, gram/cm3 (w3/v)	1,52

Data pada Tabel 5.4 menunjukkan bahwa berat volume gembur dari agregat halus adalah 1,52 gram/cm3, nilai ini sesuai dengan standar SNI 03-4804-1998 yang mengharuskan nilai berada di antara 1,2 hingga 1,7 gram/cm3.

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), cm3	5313,713
Berat volume gembur, gram/cm3 (w3/v)	1,58

Data pada tabel 5.5 menunjukkan bahwa berat volume gambur 1,58 nilai ini telah sesuai dengan persyaratan SNI 03-4804-1998 yang berkisar antara 1,2-1,7.

5.1.2 Uji Material Agregat Kasar

Agregat kasar dalam penelitian ini sebelumnya telah mengalami pengujian modulus halus butir, berat volume padat, berat volume gembur, serta berat jenis dan penyerapan air.

1. Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

   Hasil dari analisis berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar dapat ditemukan dalam Tabel 5.6 berikut ini.

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) x 100%	1,19%

Berdasarkan observasi dan pengujian yang dilakukan, didapati bahwa berat jenis kering permukaan (SSD) agregat kasar adalah 2,674, yang akan digunakan dalam perhitungan desain campuran. Selain itu, nilai rasio penyerapan air juga memenuhi syarat dengan persentase sebesar 1,19% dengan batas masksimum 3%.

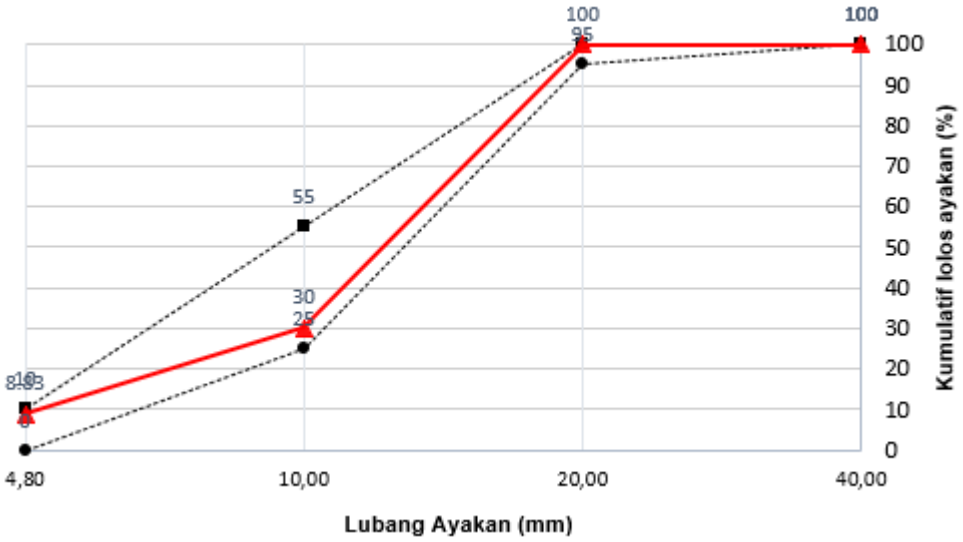
2. Uji Modulus Halus Butir Agregat Kasar

   Hasil observasi 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	30
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	665,05	

Berdasarkan data yang tercantum dalam tabel 5.7, diperoleh 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 didasarkan pada SNI-2834-2000 dan dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



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 pengamatan dan pengujian berat isi agregat kasar dapat ditemukan pada tabel 5.8 berikut.

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), cm3	5227,56
Berat volume gembur, gram/cm3 (w3/v)	1,48

Berdasarkan tabel di atas, berat volume gembur tercatat sebesar 1,48 gram/$cm3$. Nilai ini sesuai dengan SNI 03-4804-1998 yang menetapkan kisaran berat volume antara 1,2 dan 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), cm3	5227,5
Berat volume gembur, gram/cm3 (w3/v)	1,56

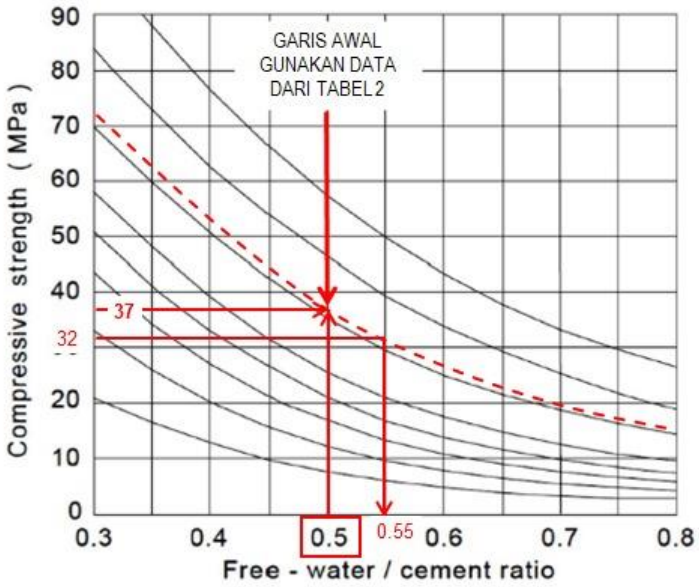
Berdasarkan Tabel 5.9, volume gembur agregat kasar tercatat sebesar 1,56 gram/$cm3$. Nilai ini sesuai dengan persyaratan SNI 03-4804-1998 yang menetapkan kisaran volume gembur antara 1,2 dan 1,7.

5.2 Analisis Proporsi Campuran Beton

Dalam penelitian yang dilakukan oleh penulis, pedoman yang digunakan untuk desain campuran adalah SNI 03-2834-2000 dengan kuat tekan rencana sebesar 20 MPa. Benda uji yang digunakan untuk mengukur kuat tekan adalah tiga silinder yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan nilai kuat tekan rencana berdasarkan hasil eksperimen dengan proporsi desain campuran yang sama dengan benda uji utama. Berikut ini adalah perhitungan desain campuran 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.
   Fcr = 20 + 12 = 32 MPa
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 37 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 0,55. 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 0,55 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,

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3}\text{Wh} + \frac{2}{3}\text{Wk}$$

$$= \frac{2}{3}175 + \frac{2}{3}205$$

$$= 185\ \text{Kg}/m^3$$

Sehingga kadar air bebas yang digunakan penulis sebesar 205 kg/$m3$.

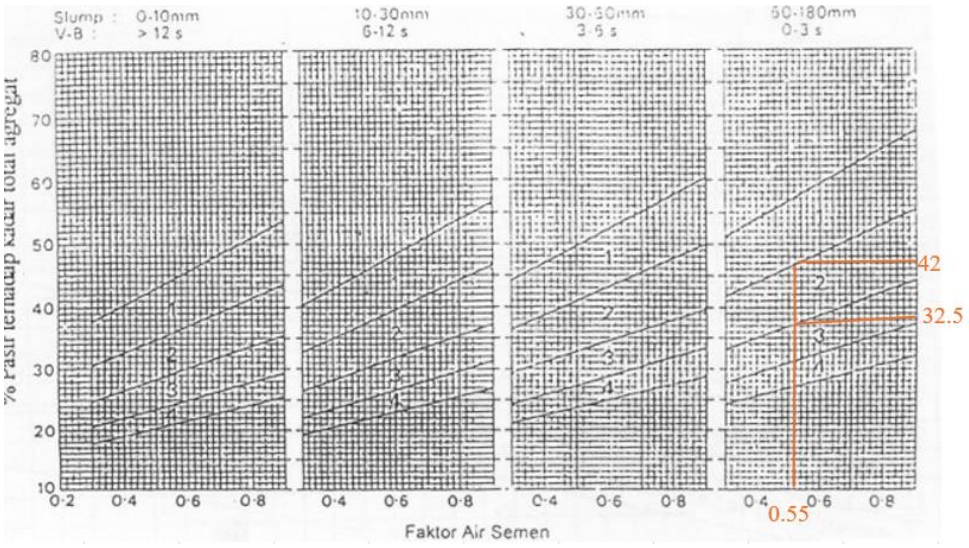
10. Perhitungan jumlah semen yang dibutuhkan tiap 1 $m3$ beton.
    a. Kadar semen dihitung dengan menggunakan persamaan 3.14 berikut

    Kadar semen $= \frac{Kadar\ air\ bebas}{FAS}$

    $= \frac{185}{0,55}$

    $= 336,36\ Kg/m^3$

    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 336,36 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

Persentase Agregat Halus $= \frac{42+33,5}{2}$x 100%

$= 37,75\%$

Persentase Agregat Kasar $= 100\% - 37,75\%$

$= 62,25\%$

12. Pada saat pengujian material didapatkan berat jenis agregat halus adalah 2,62 gram/m^3dan berat jenis agregat kasar adalah 2,625 gram/m^3.

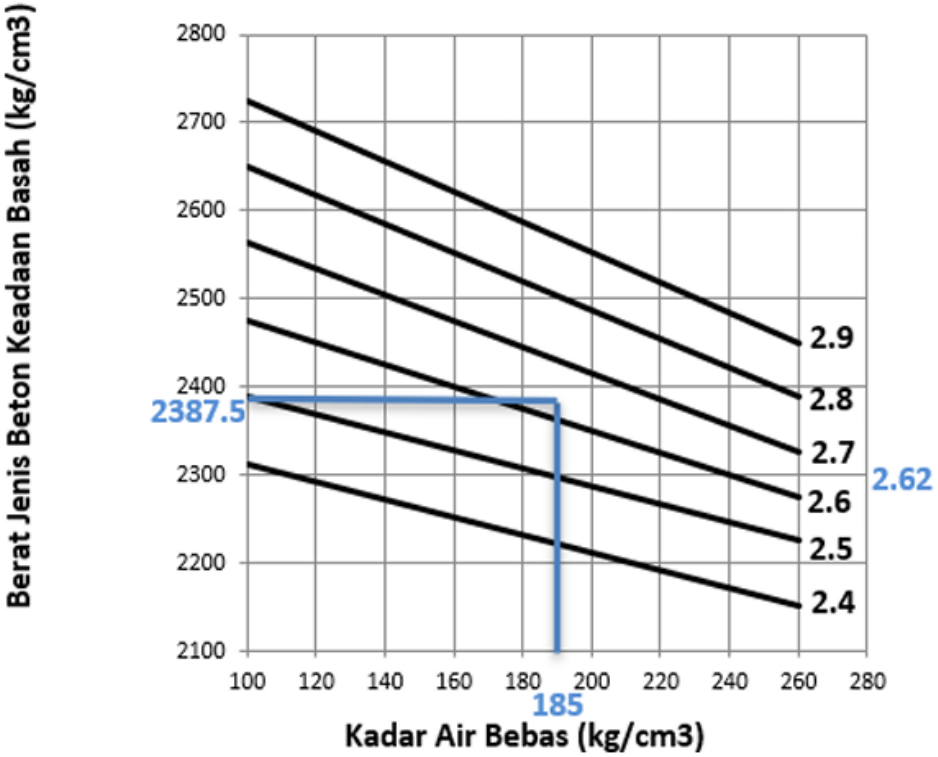
Berat jenis Gabungan $=(\frac{Ag.halus\%}{100}\ x\ BJ\ Ag.Halus) +$

$(\frac{Ag.kasar\%}{100}\ x\ BJ\ Ag.Kasar)$

$=(\frac{37,75}{100}\ x\ 2,64) + (\frac{62,25}{100}\ x\ 2,674)$

$= 2,62$ gram/m^3

13. Pada Gambar 3.7 dapat dihitung volume beton segar berdasarkan kadar air bebas sebanyak 185 kg$m3$ dan berat jenis agregat gabungan sebanyak 2,62 gram/$cm3$. 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 2387,5 kg/$m3$

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

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

= 2387 – 336,6 – 185

= 1866,14 Kg/m^3

b. Kadar agregat halus = %agregat halus x kadar agregat gabungan
= 37,75% x 1866,14
= 704,47 Kg/m^3

c. Kadar agregat kasar = kadar agregat gabungan – kadar agregat halus
= 1866,14 – 704,47
= 1161,67 Kg/m^3

15. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan didapat kebutuhan material tiap 1 m^3sebagai berikut.
    a. Semen = 336,36 kg
    b. Air = 185 kg
    c. Agregat Halus = 704,47 kg
    d. Agregat Kasar = 11621,67 kg
16. Berikut merupakan perhitungan volume benda uji silinder dan balok yang akan digunakan.

    Volume balok = l x b x h
    = 1,5 x 0,15 x 0,20
    = 0,045 m^3

    Volume silinder = π x r^2x h
    = π x $0{,}15^2$ x 0,3
    = 0,0053 m^3
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
        I. Semen = 336,36 x 0,045 x 120% x 6
        = 132,84 Kg
        II. Air = 185 x 0.045 x 120% x 6
        = 66,42 Liter
        III. Agregat halus = 704,47 x 0,045 x 120% x 6
        = 236,65 Kg

IV. Agregat kasar = 1161,67 x 0.045 x 120% x 6
= 333,59 Kg

b. Jumlah kebutuhan material pada benda uji silinder

I. Semen = 336,36 x 0,00543 x 120% x 3
= 7,8 Kg

II. Air = 185 x 0.00543 x 120% x 3
= 3,9 Liter

III. Agregat halus = 704,47 x 0,00543 x 120% x 3
= 13,94 Kg

IV. Agregat kasar = 1161,67 x 0.0543 x 20% x 3
= 19,64 Kg

5.3 Pengujian Kuat Tekan Beton

Penelitian ini melibatkan 6 balok beton bertulang dan 3 silinder beton. Setelah melalui masa perawatan yang diperlukan, pengujian dilanjutkan menggunakan mesin uji tekan. Pengujian ini bertujuan untuk menilai apakah kekuatan tekan yang direncanakan telah sesuai dengan desain campuran. Berikut adalah rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan dari silinder beton yang dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5. 10 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Benda Uji	Berat (Kg)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm2)	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,

1. Diketahui diameter = 150,8 mm, sehingga jari jari nya sebesar 75,4 mm
2. A = π x r^2
= π x $75{,}4^2$
= 17860,456 mm^2
3. F'c = $\frac{403860}{17860{,}456}$

= 22,6 MPa

Berdasarkan pengujian kuat tekan pada sampel silinder, rata-rata kuat tekan (f'c) yang diperoleh adalah 21,5 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa pengujian telah sesuai dengan mutu yang direncanakan pada desain campuran.

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

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

   Berat = 0,238 kg

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

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

   = 8,78 mm

   Luas = $^1/_4\ \pi d^2$

   = $^1/_4\ \pi\ x\ 8{,}78^2$

   = 60,55 mm^2

   Pu = 3883,58 kgf

   = 3883,58 x 9,81

   = 38090 N

   Py = 2744,062 kgf

   = 2744,062 x 9,81

   = 26919,25 N

   Fu = $\frac{Pu}{Luas\ Penampang}$

   = $\frac{38090}{60{,}55}$

   = 629,25 MPa

   Fy = $\frac{Py}{Luas\ Penampang}$

$= \frac{26919,25}{60,55}$

= 444,6 MPa

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

Pengujian tarik baja ini menghasilkan data mengenai beban saat leleh dan beban maksimum. Berikut adalah analisis hasil pengujian tarik tulangan baja ringan.

(Uk. 4x2).

Lebar = 20 mm

Tebal = 1 mm

Luas Penampang = 1 x t

= 20 x 1

= 20 mm^2

Pu = 912 kgf

= 912 x 9,81

= 8946,72 N

Py = 765 kgf

= 765 x 9,81

= 7504,65 N

Fu $= \frac{Pu}{Luas\ Penampang}$

$= \frac{8946,72}{20}$

= 447,3 MPa

Fy $= \frac{Py}{Luas\ Penampang}$

$= \frac{7504,65}{20}$

= 375,2 MPa

3. Uji Tarik Baja Ringan (Uk. 2x3)

Pengujian tarik baja ini menghasilkan data tentang beban saat leleh dan beban maksimum. Berikut adalah analisis hasil pengujian tarik pada tulangan baja ringan.

(Uk. 3x2).

Lebar = 15 mm

Tebal = 1 mm

Luas Penampang = l x t

= 15 x 1

= 15 mm^2

Pu = 681 kgf

= 681 x 9,81

= 6680,61 N

Py = 562 kgf

= 562 x 9,81

= 5513,22 N

Fu = $\frac{Pu}{Luas\ Penampang}$

= $\frac{6680,62}{15}$

= 445,4 MPa

Fy = $\frac{Py}{Luas\ Penampang}$

= $\frac{5513,22}{15}$

= 367,5 MPa

Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan hasil analisis kuat tarik pada baja ringan dan baja tulangan yang dapat dilihat pada tabel 5.11.

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 sudah melewati proses perawatan selama 28 hari, kemudian diuji lenturnya menggunakan metode pembebanan dua titik sebagaimana tergambar

pada lampiran 4, gambar 4.2. Hasil pengujian dari setiap sampel balok diuraikan sebagai berikut.

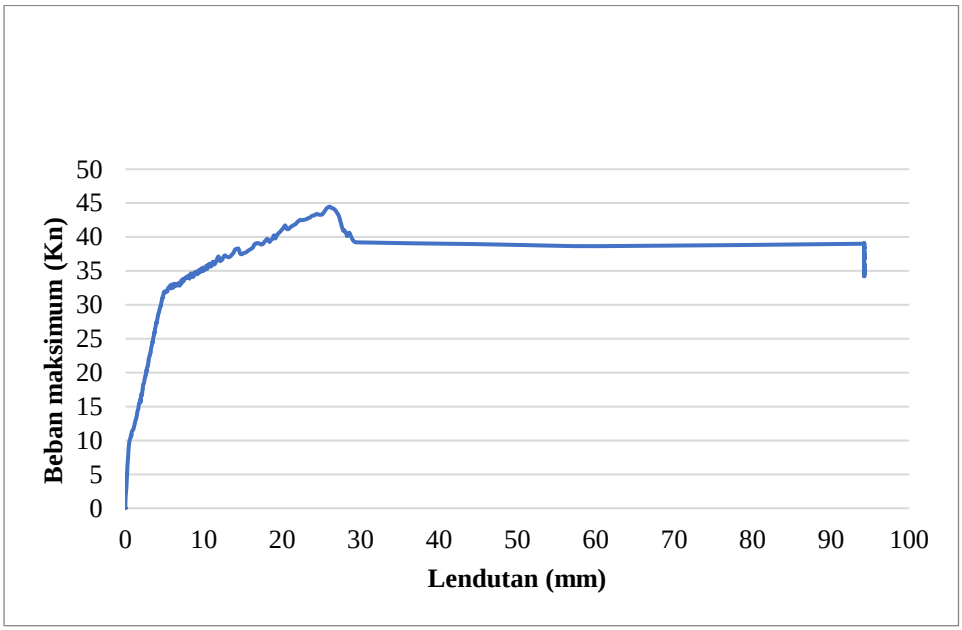
5.5.1 Pengujian Balok Kontrol

Selama pengujian lentur pada balok kontrol, retakan mulai muncul di bagian bawah dan secara bertahap menjalar ke atas seiring dengan bertambahnya beban. Retakan ini terus berkembang hingga mencapai area tekan, dan semakin lebar. Pada beberapa kasus, retakan baru muncul di sekitar area yang memiliki karakteristik serupa. Semua balok kontrol mencapai beban maksimumnya saat retakan terjadi pada area tumpuan balok beton. Lendutan akhir yang diamati pada balok kontrol saat mencapai beban maksimum menunjukkan bahwa baja tulangan telah mengalami pelelehan, namun tidak putus.

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

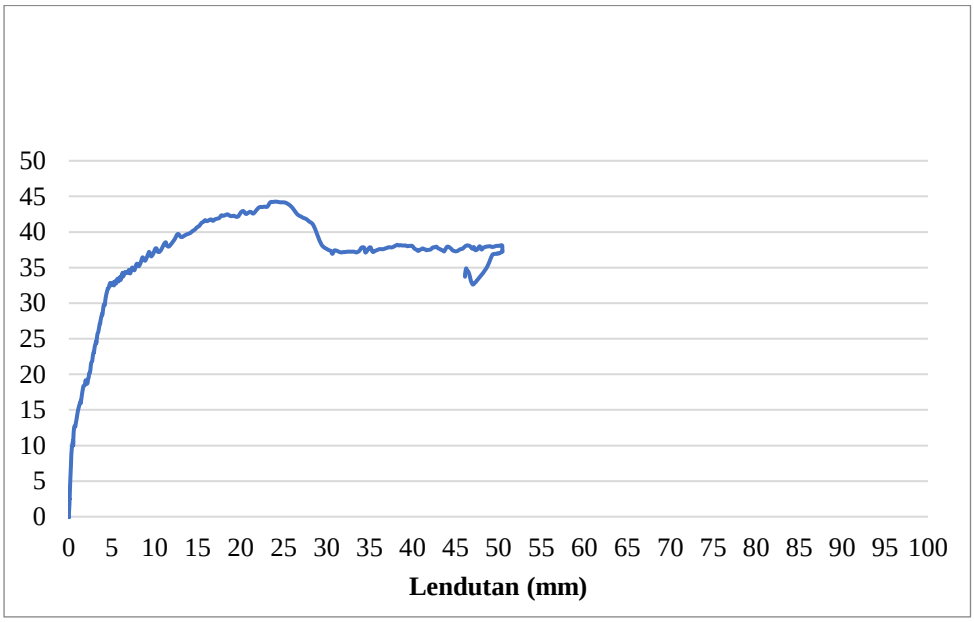


Gambar 5. 7 Grafik Beban (kN) – Lendutan (mm) BJ 01 – 1

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.

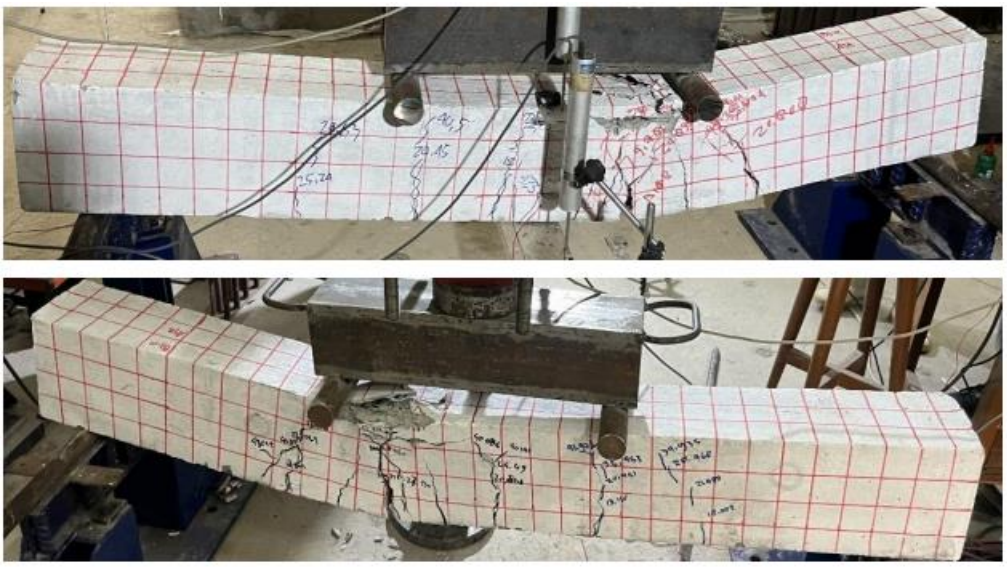
Gambar 5. 8 Benda Uji BJ 01 – 2



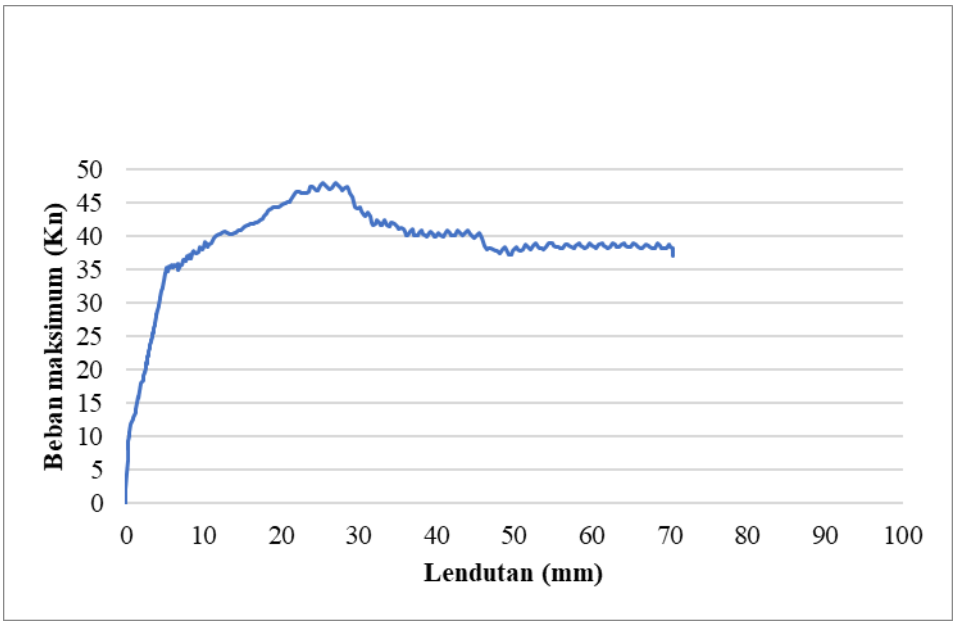
Gambar 5. 9 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 01 -2

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 ssebesar 27,084 mm, hasil pengujian serta grafik beban lendutan terdapat pada gambar 5.11 dan 5.12 berikut ini.



Gambar 5. 10 Benda Uji 01 – 3

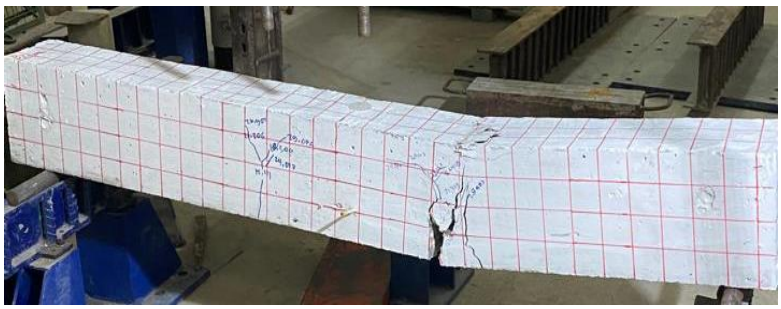


Gambar 5. 11 Grafik Beban (kN) – Lendutan (mm) BJ 01 – 3

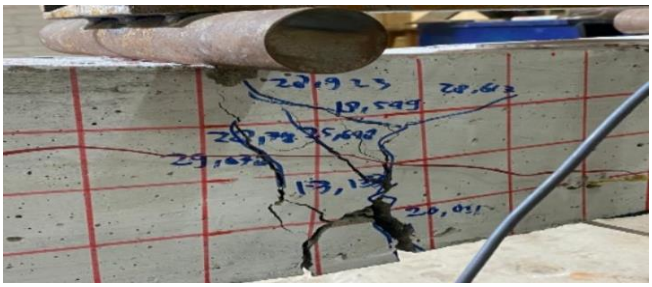
5.5.2 Pengujian Balok Variasi (BJ 02)

1. Balok Baja Ringan (BJ 02 – 1)

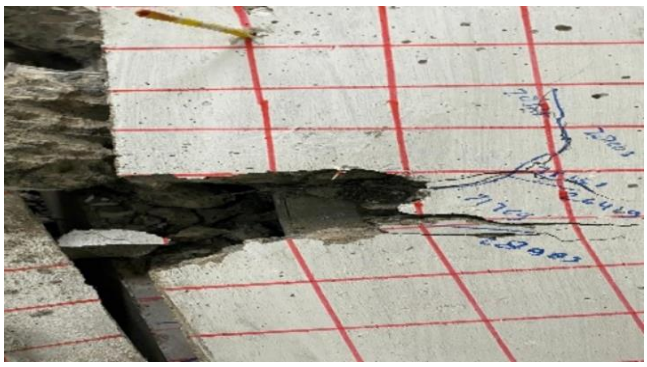
   Sampel BJ 02 – 1 memiliki berat 113,6 kg dengan dimensi 150 x 200 x 1580 mm. Beban maksimum yang dapat ditahan sebesar 29,127 kN dengan lendutan sebesar 15,743 mm, hasil pengujian serta grafik beban lendutan terdapat pada gambar 5.13 s.d. 5.16 berikut ini.



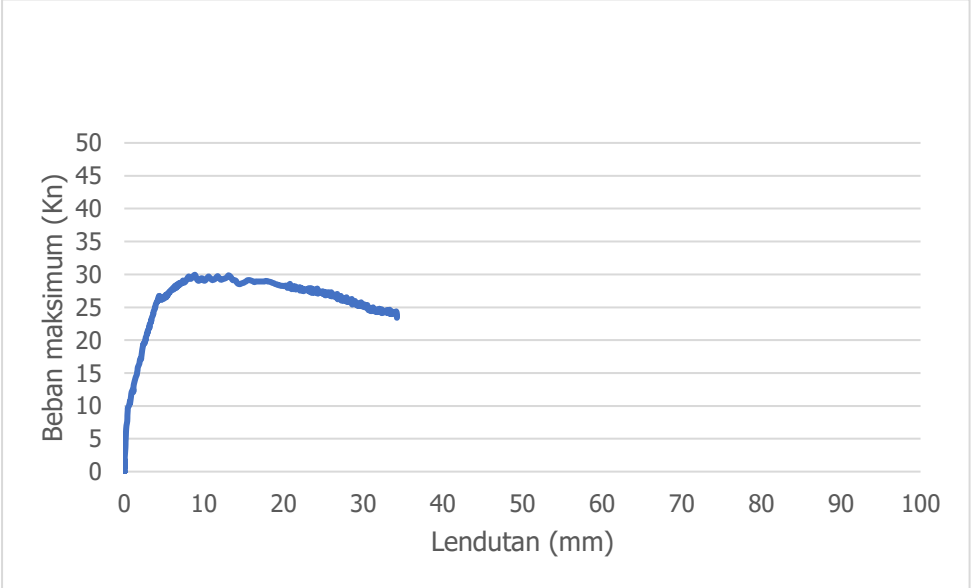
Gambar 5. 12 Benda uji balok BJ 02 – 1



Gambar 5. 13 Detail pola keruntuhan BJ 02 – 1



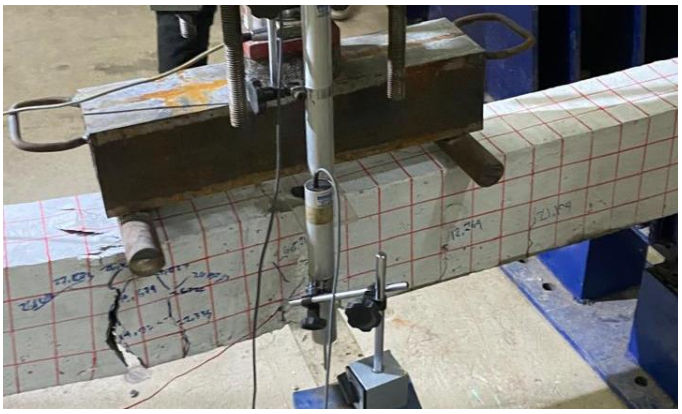
Gambar 5. 14 Detail tulangan pada balok BJ 02 – 1



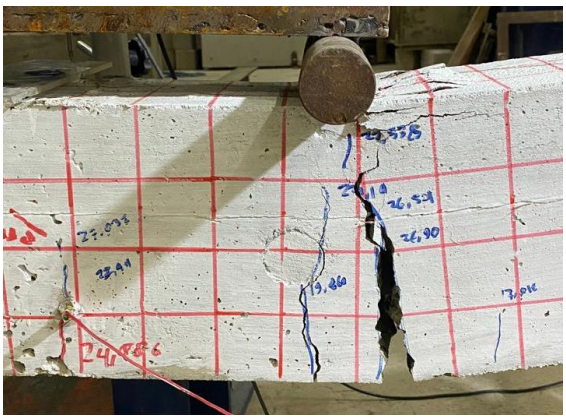
Gambar 5. 15 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 02 - 1

2. Balok Baja Ringan (BJ 02 – 2)

Sampel BJ 02 – 2 memiliki berat 111 kg dengan dimensi 150 x 200 x 1580 mm. Beban maksimum yang dapat ditahan sebesar 27,594 kN dengan lendutan sebesar 12,906 mm, hasil pengujian serta grafik beban lendutan terdapat pada gambar 5.17 s.d. 5.20 berikut ini.

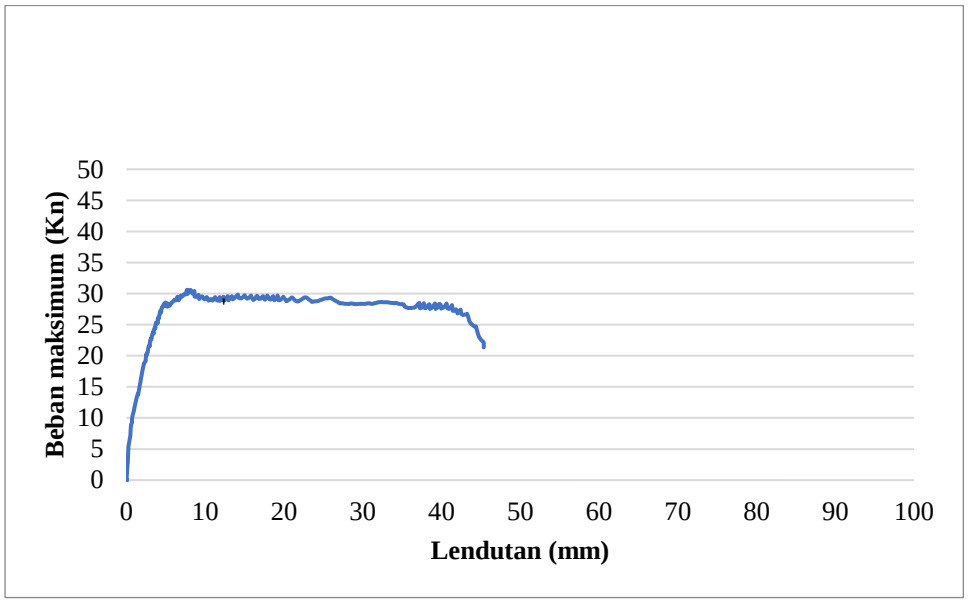


Gambar 5. 16 Benda uji balok BJ 02 – 2



Gambar 5. 17 Detail pola keruntuhan BJ 02 – 2

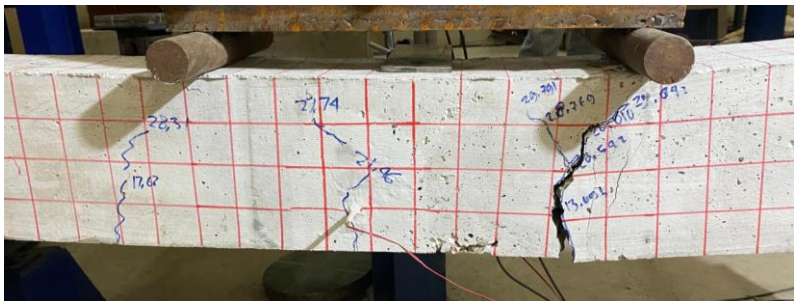
Gambar 5. 18 Detail tulangan pada balok BJ 02 – 2



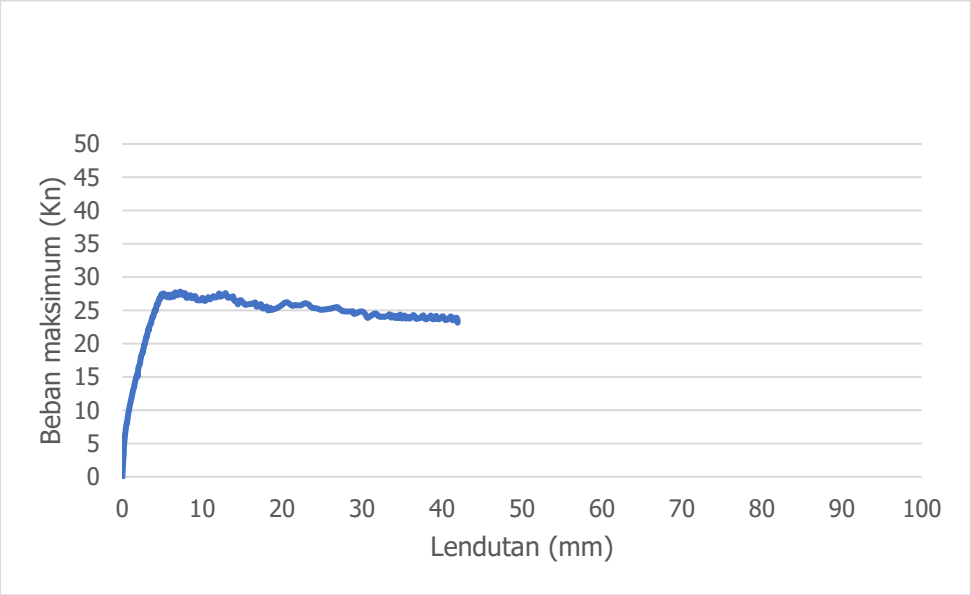
Gambar 5. 19 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 02 - 2

3. Balok Baja Ringan (BJ 02 – 3)

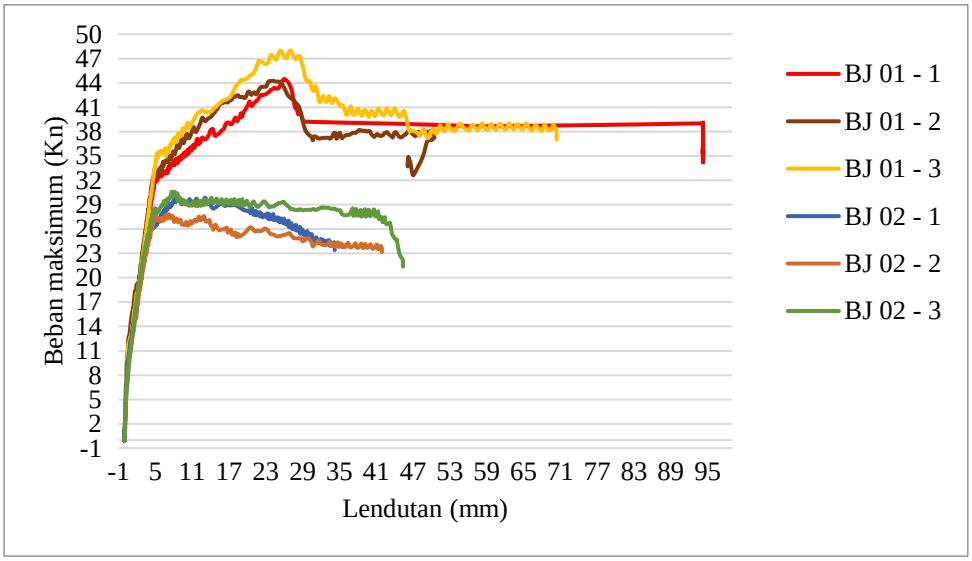
Sampel BJ 02 – 3 memiliki berat 112,5 kg dengan dimensi 150 x 200 x 1580 mm. Beban maksimum yang dapat ditahan sebesar 30,558 kN dengan lendutan sebesar 8,163 mm, hasil pengujian serta grafik beban lendutan terdapat pada gambar 5.17 s.d. 5.20 berikut ini.



Gambar 5. 20 Benda uji balok BJ 02 – 3



Gambar 5. 21 Grafik Beban (kN) - Lendutan (mm) BJ 02 – 3



Gambar 5. 22 Perbandingan Grafik Beban (kN) – Lendutan (mm) BJ 01 dan BJ 02

Pengujian lentur ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar beban yang dapat ditahan oleh suatu material sebelum mengalami deformasi permanen (patah atau rusak). Lendutan Menunjukkan sejauh mana material melengkung atau berdeformasi di bawah beban. Semakin besar lendutan, semakin besar pula deformasi yang dialami material, dan beban maksimum Menunjukkan besarnya beban maksimum yang dapat ditahan oleh material sebelum gagal. Semakin tinggi

nilai beban maksimum, semakin kuat material tersebut dalam menahan beban lentur. Semua sampel menunjukkan pola yang serupa, yaitu peningkatan beban seiring dengan peningkatan lendutan hingga mencapai titik maksimum. Setelah titik maksimum, beban menurun drastis, yang mengindikasikan terjadinya kegagalan material, Terjadi penurunan beban maksimum pada BJ 02 di karenakan pada BJ 02 mengalami kegagalan pada pengujian setelah 28 hari, setelah pengujian BJ 02 masih terlihat basah faktor yang mempengaruhi karena ketidaksempurnaan dalam pencampuran beton.

5.6 Analisis Kuat Lentur Balok BJ 01 dan BJ 02

Pengujian lentur balok beton bertulang menghasilkan data yang dapat dianalisis untuk mendapatkan hasil dari kuat lentur. Berikut merupakan analisis dari kuat lentur balok beton bertulang.

1. BJ 01 – 1

   Diketahui:

   P = 44472 N

   L = 1422 mm

   B = 150 mm

   H = 200 mm

   maka,

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

   $\sigma = \frac{44472\ x\ 1422}{150\ x\ 200^2}$

   = 10,539 MPa

2. BJ 02 – 1

   Diketahui:

   P = 29945 N

   L = 1422 mm

   B = 150 mm

   H = 200 mm

   maka,

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

$$\sigma = \frac{29945\ x\ 1422}{150\ x\ 200^2}$$

= 7,096MPa

Perhitungan sampel balok BJ 01-3 sampai BJ 02-3 dianalisis dengan cara yang sama. Hasil rekapitulasi kekakuan balok dapat dilihat pada tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Kuat Lentur

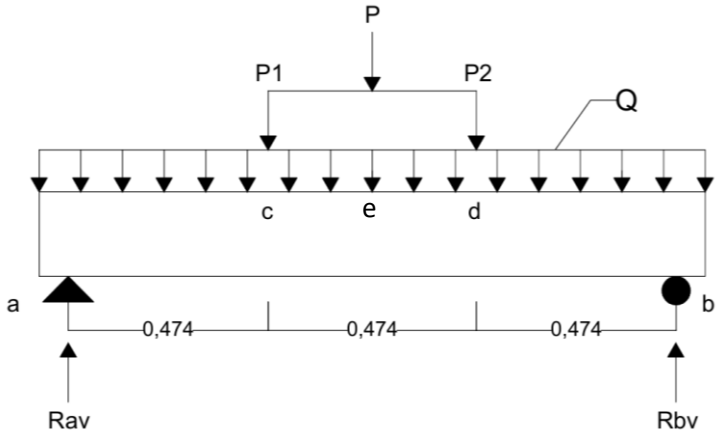
Kode	Beban (n)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Kuat Lentur (Mpa)	Rerata Kuat Lentur (Mpa)
BJ 01-1	44472	1422	150	200	10.539	10.801
BJ 01-2	44268	1422	150	200	10.491	
BJ 01-3	47991	1422	150	200	11.373	
BJ 02-1	29840	1422	150	200	7.096	7.169
BJ 02-2	27696	1422	150	200	6.563	
BJ 02-3	30558	1422	150	200	7.242	

Dari table 5.12 rekapitulasi kuat lentur, diketahui bahwa balok BJ 01 memiliki nilai rata-rata 10,801 Mpa, Sedangkan balok BJ 02 memiliki rata-rata 7,169 Mpa. Hal ini menunjukkan bahwa pada balok BJ 02 terjadi penurunan sebesar 3.632 Mpa.

5.7 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. 23 Ilustrasi Pengujian BJ 01-1

Diketahui,

P = 32,079 kN

P1 = 16,039 kN

P2 = 16,039 kN

Q = 118 kg/m

= 118 x 0,0098

= 1,156 kN/m

Reaksi yang terjadi pada tumpuan,

∑Ma = P1 x 0,474 + P2 x 0,948 – Rbv x 1,422 + QL x ½L

= 16,039 x 0,474 + 16,039 x 0,948 – Rbv x 1,13 x 1,442 x ½ x 1,442

Rbv x 1,422 = 7,603+ 15,206 + 1,169

Rbv = $\frac{23,949}{1,422}$

= 16,861 kN

∑Mb = -P2 x 0,474 – P1 x 0,948 + Rav x 1,422 - QL x ½L

= -16,039 x 0,474 - 16,039 x 0,948 +Rav x 1422 - 1,13 x 1,442 x ½ x 1,442

Rav x 1,422 = 7,603+ 15,206 + 1,16

Rav = $\frac{23,949}{1,422}$

= 16,861 kN

Momen yang terjadi pada balok, ditinjau dari kiri,

Mc = Rav x 0,474 – ½ QL^2

= 16,861 x 0,474 – 0,5 x 1,156 x $0,474^2$

= 7,86m

Md = Rav x 0,984 – P1 x 0,474 – ½ QL^2

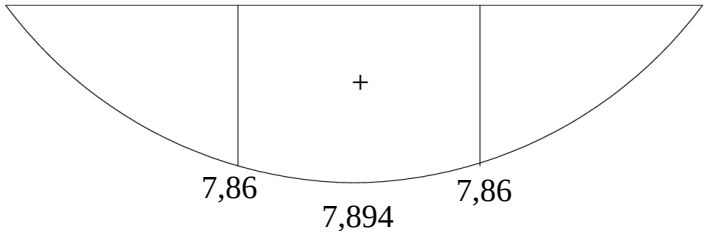
= 16,861 x 0,948 - 16,039 x 0,474 – 0,5 x 1,156 x $0,948^2$

=7,86 kNm

Me = Rav x 0,711 – P1 x 0,237 - ½ QL^2

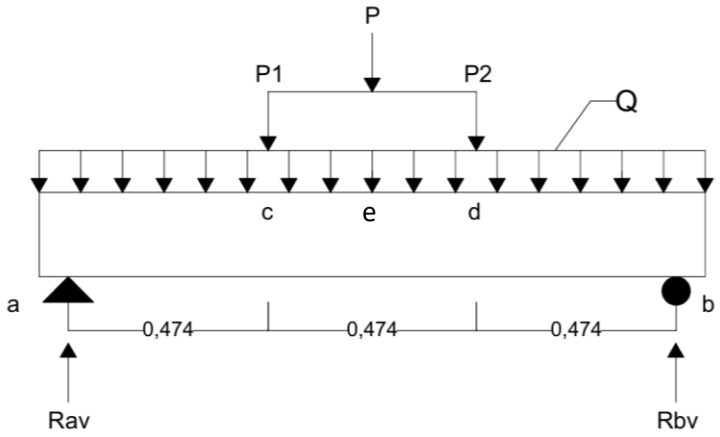
= 16,861 x 0,711 – 16,039 x 0,237 – 0,5 x 1,156 x $0,711^2$

= 7,894 kNm



Gambar 5. 24 *Banding moment diagram* (BMD) BJ 01 – 1

2. Momen Nominal eksperimen BJ 01 – 2



Gambar 5. 25 Ilustrasi Pengujian BJ 01 - 2

Diketahui,

P = 32,894 kN

P1 = 16,447 kN

P2 = 16,447 Kn

Q = 118,9 kg/m

= 118,9 x 0,0098

= 1,14 kN/m

Reaksi yang terjadi pada tumpuan,

∑Ma = P1 x 0,474 + P2 x 0,948 – Rbv x 1,422 + QL x ½L

= 16,447 x 0,474 + 16,447 x 0,948 – Rbv x 1,422 + 1,14 x 1,442 x 0.5 x 1,442

Rbv x 1,422 = 7,795+ 15,591 + 1,17

Rbv = $\frac{24,52763}{1,422}$

= 17,27

∑Mb = -P2 x 0,474 – P1 x 0,948 + Rav x 1,422 - QL x ½L

= -16,447 x 0,474 - 16,447 x 0,948 +Rav x 1422 - 1,14 x 1,442 x 0.5 x 1,442

Rav x 1,422 = 7,795+ 15,591 + 1,17

Rav = $\frac{24,52763}{1,422}$

= 17,27

Momen yang terjadi pada balok, ditinjau dari kiri,

Mc = Rav x 0,474 – ½ QL^2

= 17,248 x 0,474 – 0,5 x 1,14 x $0,472^2$

= 8,05 kNm

Md = Rav x 0,984 – P1 0,474 – ½ QL^2

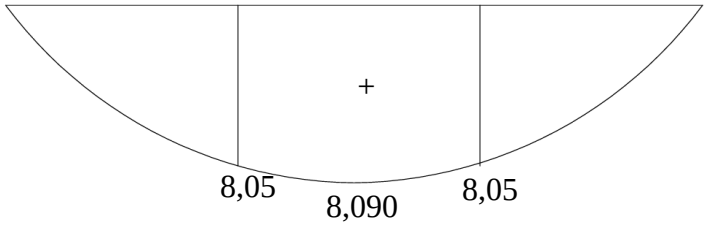
= 17,248 x 0,984 - 16,447 x 0,474 – 0,5 x 1,14 x $0,948^2$

= 8.05 kNm

Me = Rav x 0,711 – P1 x 0,237 - ½ QL^2

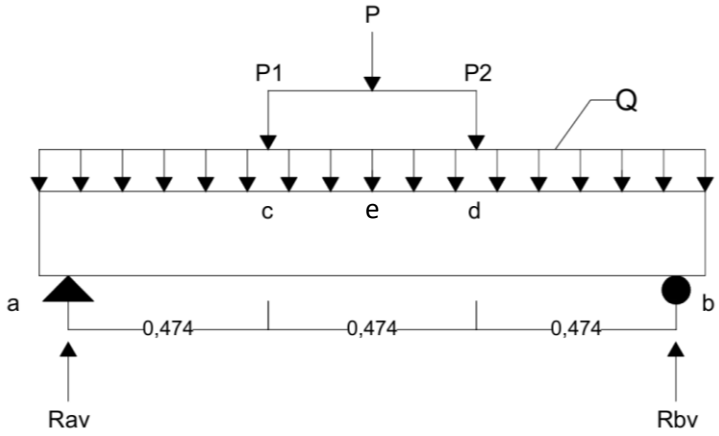
= 17,248 x 0,711 – 16,447 x 0,237 – 0,5 x 1,156 x $0,711^2$

= 7,894 kNm



Gambar 5. 26 *Banding moment diagram* (BMD) BJ 01 – 2

3. Momen Nominal eksperimen BJ 01 – 3



Gambar 5. 27 Ilustrasi Pengujian BJ 01 - 3

Diketahui,

P = 35

P1 = 17,5 Kn

P2 = 17,5 Kn

Q = 118,5 kg/m

= 118,5 x 0,0098

= 1,163 kN/m

Reaksi yang terjadi pada tumpuan,

∑Ma = P1 x 0,474 + P2 x 0,948 – Rbv x 1,422 + QL x ½L

= 17,5 x 0,474 + 17,5 x 0,948 – Rbv x 1,422 + 1,163 x 1,422 x 0,5 x 1,422

Rbv x 1,422 = 8,295 + 16,59 + 1,17

Rbv = $\frac{26,055}{1,422}$

= 18,325 kN

$\sum Mb$ = -P2 x 0,474 – P1 x 0,948 + Rav x 1,422 - QL x ½L

= -17,5 x 0,474 - 17,5 x 0,948 +Rav x 1422 - 1,163 x 1,422 x 0,5 x 1,422

Rav x 1,422 = 8,295 + 16,59 + 1,17

Rav = $\frac{26,055}{1,422}$

= 18,325

Momen yang terjadi pada balok, ditinjau dari kiri,

Mc = Rav x 0,474 – ½ QL^2

= 18,325 x 0,474 – 0,5 x 1,17 x $0,474^2$

= 8,555 kNm

Md = Rav x 0,984 – P1 0,474 – ½ QL^2

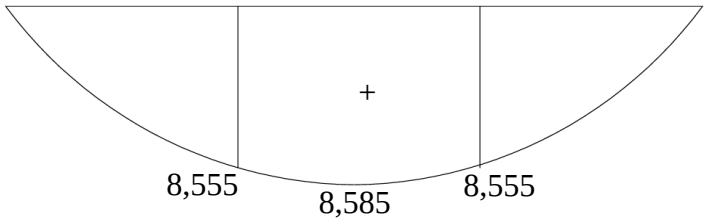
= 18,325 x 0,984 – 17,5 x 0,474 – 0,5 x 1,17 x $0,948^2$

= 8,555 kNm

Me = Rav x 0,711 – P1 x 0,237 - ½ QL^2

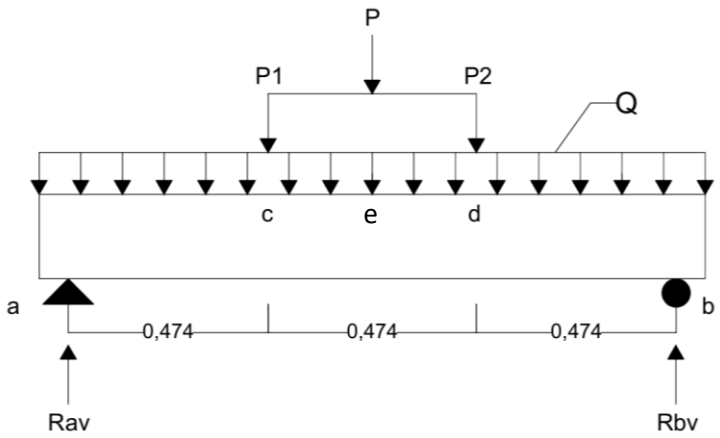
= 18,325 x 0,711 – 17,5 x 0,237 – 0,5 x 1,156 x $0,711^2$

= 7,894 kNm



Gambar 5. 28 *Banding moment diagram* (BMD) BJ 01 - 3

4. Momen Nominal eksperimen BJ 02 – 1



Gambar 5. 29 Ilustrasi Pengujian BJ 02 - 1

Diketahui,

P = 26,316

P1 = 13,158

P2 = 13,158

Q = 113,6 kg/m

= 113,6 x 0,0098

= 1,11

Reaksi yang terjadi pada tumpuan,

∑Ma = P1 x 0,474 + P2 x 0,948 – Rbv x 1,422 + QL x ½L

= 13,158 x 0,474 + 13,158 x 0,948 – Rbv x 1,422 + 1,163 x 1,422 x 0,5 x 1,422

Rbv x 1,422 = 6,23+ 12,47 + 1,12

Rbv = $\frac{19,830}{1,422}$

= 13,94

∑Mb = -P2 x 0,474 – P1 x 0,948 + Rav x 1,422 - QL x ½L

= -13,158x 0,474 - 13,158x 0,948 +Rav x 1422 - 1,163 x 1,422 x 0,5 x 1,422

Rav x 1,422 = 6,23+ 12,47 + 1,12

Rav = $\frac{19,830}{1,422}$

= 13,94

Momen yang terjadi pada balok, ditinjau dari kiri,

Mc = Rav x 0,474 – ½ QL^2

= 13,94 x 0,474 - 0,5 x 1,17 x $0,474^2$

= 6,487 kNm

Md = Rav x 0,984 – P1 0,474 – ½ QL^2

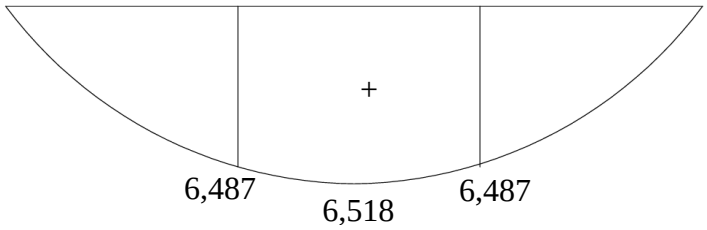
= 13,94 x 0,984 - 13,158 x 0,474 - 0,5 x 1,17 x $0,948^2$

=6,487 kNm

Me = Rav x 0,711 – P1 x 0,237 - ½ QL^2

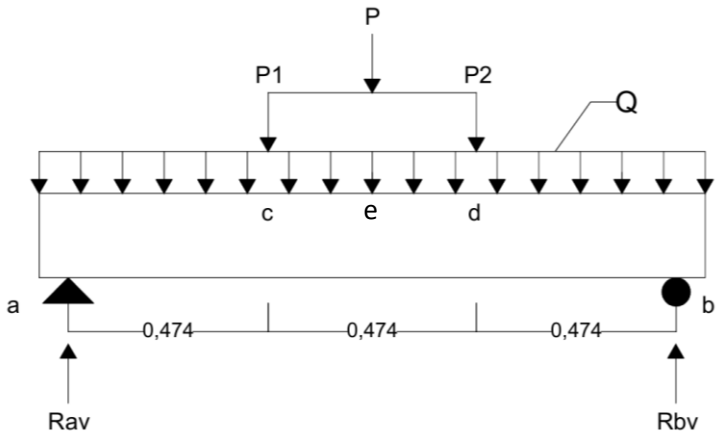
= 13,94 x 0,711 – 13,158 x 0,237 – 0,5 x 1,156 x $0,711^2$

= 6,518 kNm



Gambar 5. 30 *Banding moment diagram* (BMD) BJ 02 – 1

5. Momen Nominal eksperimen BJ 02 – 2



Gambar 5. 31 Ilustrasi Pengujian BJ 02 – 2

Diketahui,

P = 26,725 kN

P1 = 13,362 Kn

P2 = 13,362 Kn

Q = 111 kg/m

= 111 x 0,0098

= 1,087 kN/m

Reaksi yang terjadi pada tumpuan,

∑Ma = P1 x 0,474 + P2 x 0,948 – Rbv x 1,422 + QL x ½L

= 13,362 x 0,474 + 13,362 x 0,948 – Rbv x 1,422 + 1,163 x 1,422 x 0,5 x 1,422

Rbv x 1,422 = 6,333+ 12,667 + 1,099

Rbv = $\frac{20,100}{1,422}$

= 14,135

∑Mb = -P2 x 0,474 – P1 x 0,948 + Rav x 1,422 - QL x ½L

= -13,362 x 0,474 - 13,362 x 0,948 +Rav x 1422 - 1,163 x 1,422 x 0,5 x 1,422

Rav x 1,422 = 6,333+ 12,667 + 1,099

Rav = $\frac{20,100}{1,422}$

= 14,135

Momen yang terjadi pada balok, ditinjau dari kiri,

Mc = Rav x 0,474 – ½ QL^2

= 14,135 x 0,474 - 0,5 x 1,08 x $0,474^2$

= 6,577 kNm

Md = Rav x 0,984 – P1 0,474 – ½ QL^2

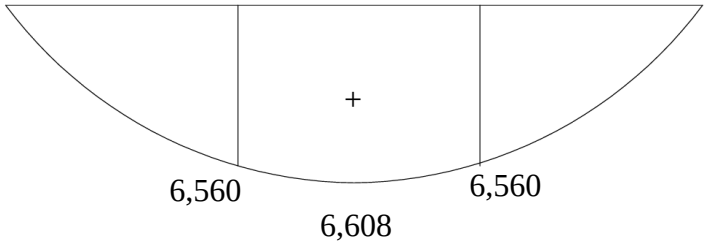
= 14,135 x 0,984 - 13,362x 0,474 - 0,5 x 1,08 x $0,948^2$

= 6,577 kNm

Me = Rav x 0,711 – P1 x 0,237 - ½ QL^2

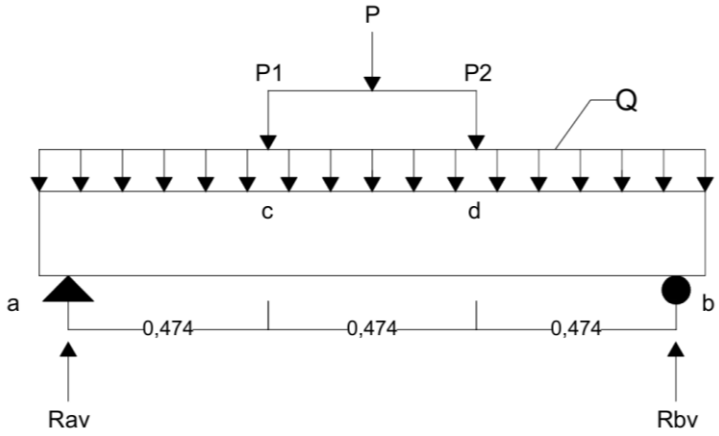
= 14,135 x 0,711 – 13,362 x 0,237 – 0,5 x 1,156 x $0,711^2$

= 6,518 kNm



Gambar 5. 32 *Banding moment diagram* (BMD) BJ 02 – 2

6. Momen Nominal eksperimen BJ 02 – 3



Gambar 5. 33 Ilustrasi Pengujian BJ 02 - 3

Diketahui,

P = 27,543 kN

P1 = 13,771 Kn

P2 = 13,771 Kn

Q = 112,5 kg/m

= 112,5 x 0,0098

= 1,10

Reaksi yang terjadi pada tumpuan,

∑Ma = P1 x 0,474 + P2 x 0,948 – Rbv x 1,422 + QL x ½L

= 13,771 x 0,474 + 13,771 x 0,948 – Rbv x 1,422 + 1,10 x 1,422 x 0,5 x 1,422

Rbv x 1,422 = 6,527 + 13,054 + 1,114

Rbv = $\frac{20,696}{1,422}$

= 14,554 kN

∑Mb = -P2 x 0,474 – P1 x 0,948 + Rav x 1,422 - QL x ½L

= -13,771 x 0,474 - 13,771 x 0,948 +Rav x 1422 - 1,10 x 1,422 x 0,5 x 1,422

Rav x 1,422 = 6,527 + 13,054 + 1,114

Rav = $\frac{20,696}{1,422}$

= 14,554

Momen yang terjadi pada balok, ditinjau dari kiri,

Mc = Rav x 0,474 - ½ QL^2

= 14,554 x 0,474 - 0,5 x 1,10 x $0,474^2$

= 6,775 kNm

Md = Rav x 0,984 – P1 0,474

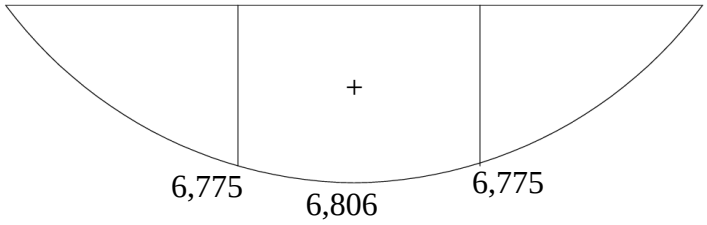
= 14,554 x 0,984 – 13,771 x 0,474 - 0,5 x 1,10 x $0,948^2$

= 6,775 kNm

Me = Rav x 0,711 – P1 x 0,237 - ½ QL^2

= 14,554 x 0,711 – 13,771 x 0,237 – 0,5 x 1,156 x $0,711^2$

= 6,806 kNm



Gambar 5. 34 *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. 13 Rekapitulasi Momen Nominal Eksperimen

Kode	Beban (kN)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Momen Nomnal Eksperimen (kNm)	Rerata Momen Nomnal Eksperimen (kNm)
Bj 01 – 1	32,079	1422	150	200	7,894	8,189
Bj 01 – 2	32,894	1422	150	200	8,090	
Bj 01 – 3	35	1422	150	200	8,585	
Bj 02 – 1	26,316	1422	150	200	6,518	6,644
Bj 02 – 2	26,725	1422	150	200	6,608	
Bj 02 - 3	27,543	1422	150	200	6,806	

dari Tabel 5.12 rekapitulalsi momen nominal eksperimen, diketahui bahwa ratarata momen nominal eksperimen dari balok BJ 01 sebesar 7,886 kNm, sedangkan balok BJ 02 sebesar 6,365 kNm. Sehingga dapat diketahui bahwa balok menggunakan tulangan baja ringan mengalami penurunan momen nominal eksperimen sebesar 1,52 kNm dari balok menggunakan baja tulangan.

5.8 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,

Lebar balok (B) = 150 mm

Tinggi balok (H) = 200 mm

Selimut beton (Sb) = 40 mm

Mutu beton (F’c) = 21,5 MPa

Mutu baja (Fy) = 444,6 MPa

Modulus elastisitas (E) = 200000 MPa

Diameter tul. Pokok tekan = 8,78 mm

Diameter tul. pokok Tarik = 8,78 mm

Diameter tul. Sengkang = 6 mm

Tinggi titik berat Tarik (ds) = Sb + D Tul sengkang + (0,5 x D pokok tarik)

= 40 + 6 + (0,5 x 8,87)

= 50,4 mm

Tinggi titik berat Tekan (ds') = Sb + D Tul sengkang + (0,5 x D pokok tekan)

= 40 + 6 + (0,5 x 8,87)

= 50,4 mm

Tinggi efektif balok (d) = H – ds

= 200 – 50,4

= 149 mm

Luas penampang Tarik (As) = n x π x 0,25 x D^2

= 2 x π x 0,25 x 10^2

= 157,079 mm^2

Luas penampang Tarik (As') = n x π x 0,25 x D^2

= 2 x π x 0,25 x 10^2

= 157,079 mm^2

1) Menghitung ρ dan ρ'

ρ = $\frac{As}{Bd}$ = $\frac{157,079}{150\ x\ 149}$ = 0,00702

ρ' = $\frac{As}{Bd}$ = $\frac{157,079}{150\ x\ 149}$ = 0,00702

ρ - ρ' = 0,00702 - 0,00702

= 0

2) Periksa tulangan telah leleh atau belum

Nilai β_1 = 0,85, untuk F'c = 21,5 MPa

K = 0,85 x β_1 x $\frac{f'c}{fy}$ x $\frac{ds}{d}$ x $\frac{600}{600-fy}$

= 0,85 x 0,85 x $\frac{21,5}{444,6}$ x $\frac{51}{149}$ x $\frac{600}{600-149}$

= 0,0454

ρ - ρ' < k (Tulangan tekan belum leleh)

untuk f'c = 21,5 MPa maka ρ_b = 0,0271

ρ_{maks} = $\frac{0,003+\text{fy}/E}{0,008}$ x ρ_b

= $\frac{0,003+444,6/200000}{0,008}$ x 0,0271

= 0,177

ρ - ρ' < ρ_{maks} (penampang terkendali tarik, faktor reduksi (Ø) = 0,9)

3) Mencari nilai a dan c

K_1 = 0,85 x f'c x β_1 x B

= 0,85 x 21,5 x 0,85 x 150

= 2330,0625

K_2 = As' x (600 – 0,85 x f'c) – (As x Fy)

= 157,079 x (600 – 0,85 x f'c) – (157,079 x 444,6)

= 21539,5446

K_3 = -600 x As' x ds

= -600 x 157,079 x 51

= -4806636,76

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

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

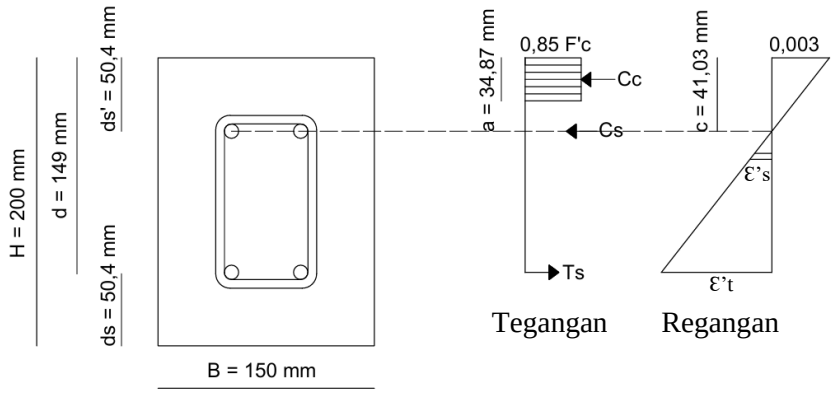
c = 41,03 mm

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

c= -50,27

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

a= β1 x c = 0,85 x 41,03 = 34,87 mm



Gambar 5. 35 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 Ɛ's yang sehasurnya 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 As' tidak meleleh. Terlebih ekstrim nila letak As' lebih dalam dari garis netralnya c, sehingga fs' menjadi tarik, maka As' diabaikan. Sehingga analisis untuk momen nominal teoritis menggunakan konsep tulangan tunggal.

4) Mencari nilai a dan Cc (tulangan tunggal)

Ts = As x Fy

Cc = 0,85 x f'c x a x B

Ts = Cc

As x Fy = 0,85 x f'c x a x B

a = $\frac{As\ x\ Fy}{0{,}85\ x\ f'c\ x\ B}$

a = $\frac{157{,}079\ x\ 444{,}6}{0{,}85\ x\ 21{,}5\ x\ 150}$

a = 25,476 mm

Cc = 0,85 x 21,5 x 25,476 x 150

Cc = 69837,604 N

5) Mencari Momen Nominal

Mn = $\emptyset\ x\ (Cc\ x\ (d - \frac{a}{2}))$

$= Ø\ x\ (69837{,}604\ x\ (149 - \frac{25{,}476}{2}))$

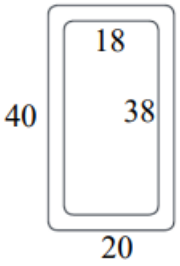
= 8564575,099 Nmm

= 8,564 kNm

b. Balok beton tulangan baja ringan (BJ 02)

Diketahui,

Lebar balok (B)	= 150 mm
Tinggi balok (H)	= 200 mm
Selimut beton (Sb)	= 40 mm
Mutu beton (F'c)	= 21,5 MPa
Mutu baja (Fy)	= 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 = 30 mm
Diameter tul. Sengkang	= 6 mm
Tinggi titik berat Tarik (ds)	= Sb + D Tul sengkang + (0,5 x h tarik)
	= 40 + 6 + (0,5 x 40)
	= 66 mm
Tinggi titik berat Tekan (ds')	= Sb + D Tul sengkang + (0,5 x h tekan)
	= 40 + 6 + (0,5 x 30)
	= 61 mm
Tinggi efektif balok (d)	= H – ds
	= 200 – 66
	= 134 mm

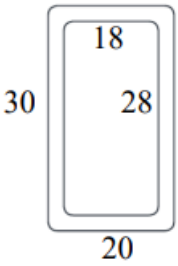


Gambar 5. 36 Luas Penampang Baja Ringan *Hollow* Uk. 4 x 2

Luas penampang Tarik (As) = n x (Lb – Lk)

= 2 x ((20 x 40)-(18 x 38))

= 232 mm^2



Gambar 5. 37 Luas Penampang Baja Ringan *Hollow* Uk. 3 x 2

Luas penampang Tarik (As') = n x (Lb – Lk)

= 2 x ((20 x 30)-(18 x 28))

= 192 mm^2

1) Menghitung ρ dan ρ'

ρ = $\frac{As}{Bd}$ = $\frac{232}{150\ x\ 139}$ = 0,0111

ρ' = $\frac{As}{Bd}$ = $\frac{192}{150\ x\ 139}$ = 0,0092

ρ - ρ' = 0,0111- 0,0092

= 0,0019

2) Periksa tulangan telah leleh atau belum

Nilai β_1 = 0,85, untuk F'c = 21,5 MPa

K = 0,85 x β_1 x $\frac{f'c}{fy}$ x $\frac{ds}{d}$ x $\frac{600}{600-fy}$

= 0,85 x 0,85 x $\frac{21,5}{375,2}$ x $\frac{61}{139}$ x $\frac{600}{600-375,2}$

= 0,054

ρ - ρ' < k (Tulangan tekan belum leleh)

untuk f'c = 21,5 MPa maka ρ_b= 0,0271

ρ_{maks} = $\frac{0,003+fy/E}{0,008}$ x ρ_b

= $\frac{0,003+375,2/200000}{0,008}$ x 0,0271

= 0,1789

ρ - ρ' < ρ_{maks} (penampang terkendali tarik, faktor reduksi (Ø) = 0,9)

3) Mencari nilai a dan c

K_1 = 0,85 x f'c x β_1 x B

= 0,85 x 21,5 x 0,85 x 150

= 2330,0625

K_2 = As' x (600 – 0,85 x f'c) – (As x Fy)

= 192 x (600 – 0,85 x 21,5) – (232 x 375,2)

= 24644,8

K_3 = -600 x As' x ds

= -600 x 192 x 61

= -7027200

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

c = $\frac{21539,544 + \sqrt{24644,8^2 - 4(2330,0625)(-7027200)}}{2(2330,0625)}$

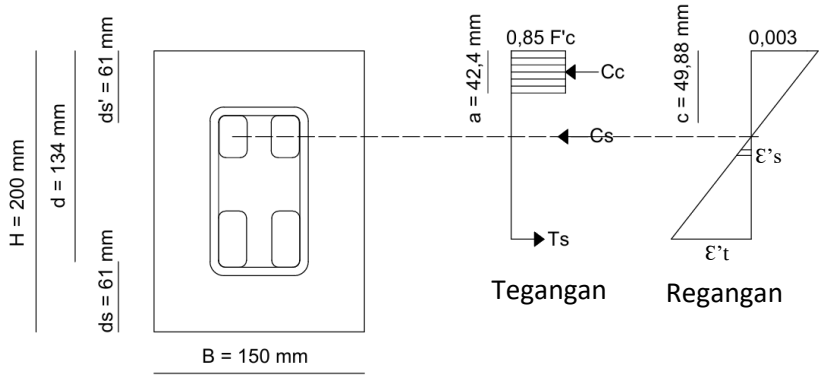
c = 49,882 mm

c = $\frac{21539,544 - \sqrt{24644,8^2 - 4(2330,0625)(-7027200)}}{2(2330,0625)}$

c= -60,459

diambil nilai c yang positif, maka nilai c = 49,882

a= β1 x c = 0,85 x 49,882 = 42,4 mm



Gambar 5. 38 grafik hubungan tegangan-regangan BJ 02

Dilihat dari gambar hubungan tegangan regangan nilai c yang terlalu dalam mengakibatkan nilai Ɛ'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 As' tidak meleleh. Terlebih ekstrim nila letak As' lebih dalam dari garis netralnya c, sehingga fs' menjadi tarik, maka As' diabaikan. Sehingga analisis untuk momen nominal teoritis menggunakan konsep tulangan tunggal.

4) Mencari nilai a dan Cc (tulangan tunggal)

Ts = As x Fy

Cc = 0,85 x f'c x a x B

Ts = Cc

As x Fy = 0,85 x f'c x a x B

a = $\frac{As\ x\ Fy}{0{,}85\ x\ f'c\ x\ B}$

a = $\frac{232\ x\ 375{,}2}{0{,}85\ x\ 21{,}5\ x\ 150}$

a = 31,754 mm

Cc = 0,85 x 21,5 x 31,754 x 150

Cc = 87045,67 N

5) Mencari Momen Nominal

Mn = $\emptyset\ (Cc\ x\ (d - \frac{a}{2}))$

= $\emptyset\ ((87045{,}67\ x\ (139 - \frac{31{,}754}{2}))$

= 9645579 Nmm

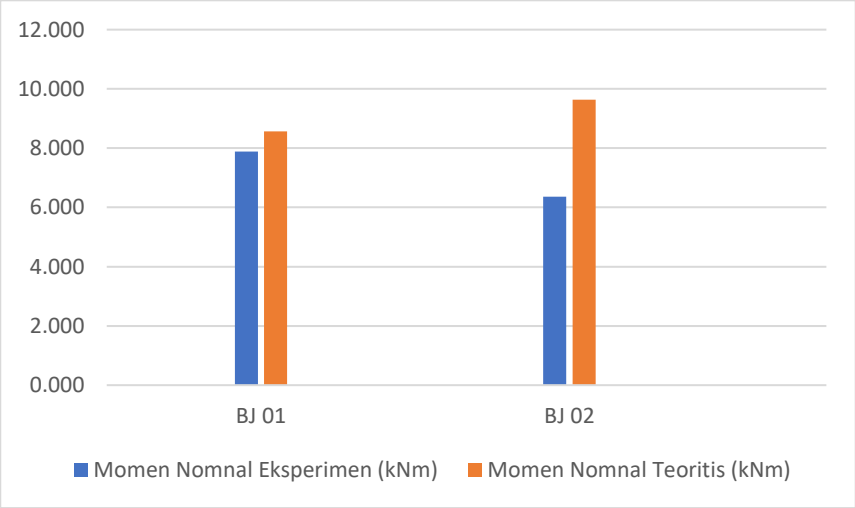
= 9,64 kNm

5.9 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. 14 Perbandingan Momen Lentur Eksperimen dan Teoritis

Kode	Beban (kN)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Momen Nomnal Eksperimen (kNm)	Momen Nomnal Teoritis (kNm)
Bj 01 – 1	32,079	1422	150	200	8,189	8,564
Bj 01 – 2	32,894	1422	150	200		
Bj 01 – 3	35	1422	150	200		
Bj 02 – 1	26,316	1422	150	200	6,644	9,64
Bj 02 – 2	26,725	1422	150	200		
Bj 02 - 3	27,543	1422	150	200		



Gambar 5. 39 Grafik perbandingan rata – rata momen nominal eksperimen dan momen nominal teoritis

Analisis momen lentur teoritis balok beton bertulang (BJ 01) dan balok beton bertulang ringan (BJ 02) menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan momen lentur eksperimen. Balok BJ 01 memiliki momen lentur teoritis 0,411 kNm lebih tinggi. Hal ini disebabkan nilai momen nominal teoritis seringkali lebih besar daripada hasil eksperimen karena perhitungan teoritis menggunakan asumsi ideal

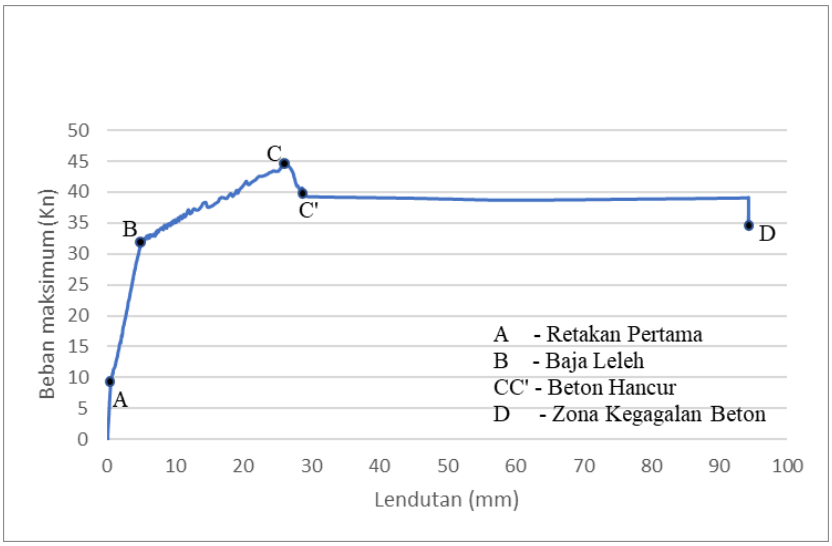
dan seringkali mengabaikan ketidaksempurnaan material, kondisi lapangan, dan metode pembebanan. Hasil eksperimen mencerminkan kondisi yang lebih nyata dan memperhitungkan faktor-faktor seperti ketidaksempurnaan struktural, degradasi material, dan interaksi antar komponen, yang menurunkan nilai momen nominal yang dicapai secara nyata.. Sebaliknya, BJ 02 memiliki momen lentur teoritis 3,27 kNm lebih rendah dibandingkan momen eksperimen BJ 02. Penurunan ini disebabkan oleh kegagalan beton pada BJ 02. Pengujian menunjukkan bahwa beton BJ 02 masih terlihat basah setelah 28 hari, yang mengindikasikan proses pencampuran dan *curing* yang tidak optimal. Perbedaan momen lentur ekperimen ini dapat dikaitkan dengan perbedaan karakteristik material dan proses konstruksi pada kedua balok.

5.10 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)

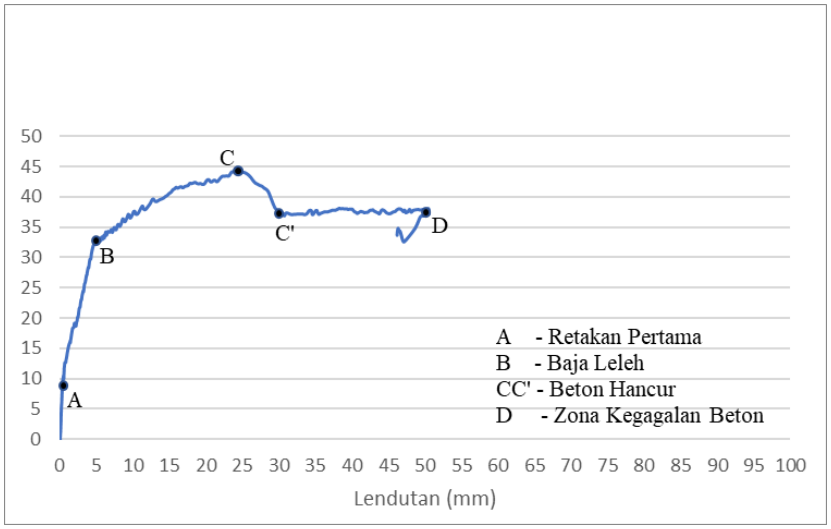
   Balok beton bertulang BJ 01-1 mulai retak saat beban mencapai 11,73 kN, dengan lendutan 1,032 mm. Lendutan maksimum balok mencapai 26,2 mm saat beban mencapai 44,472 kN sebelum runtuh. Grafik retak hingga keruntuhan balok dapat dilihat pada Gambar 5.38.



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

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

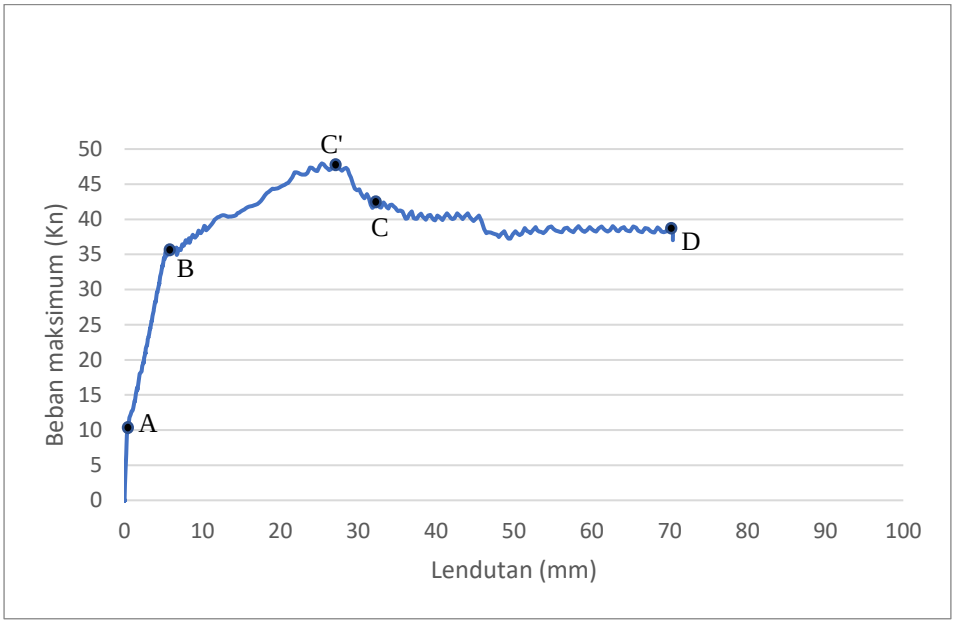
Balok beton bertulang BJ 01-2 mulai retak saat beban mencapai 12,24 kN, dengan lendutan 0,870 mm. Lendutan maksimum balok mencapai 24,075 mm saat beban mencapai 44,269 kN sebelum runtuh. Grafik retak hingga keruntuhan balok dapat dilihat pada Gambar 5.39.



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

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

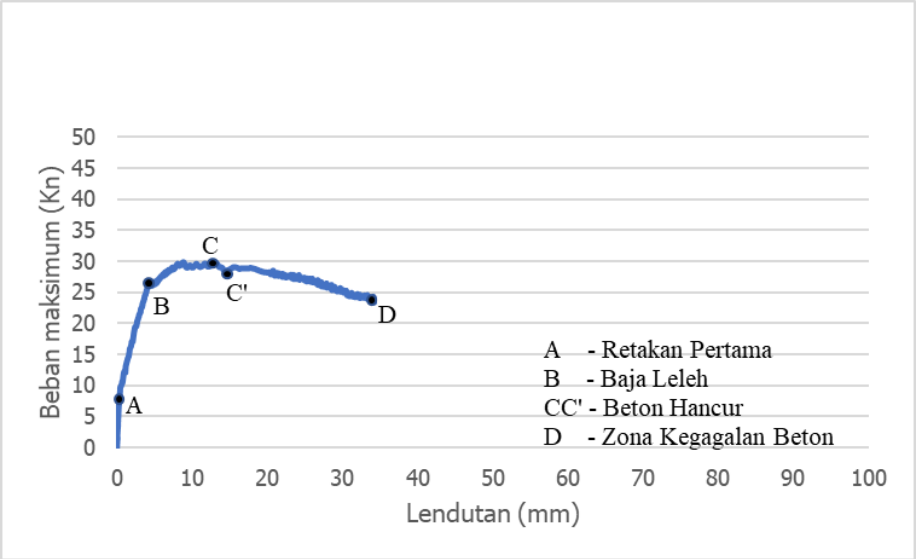
Balok beton bertulang BJ 01-3 mulai retak saat beban mencapai 12,8 kN, dengan lendutan 1,023 mm. Lendutan maksimum balok mencapai 27,084 mm saat beban mencapai 47,9 kN sebelum runtuh. Grafik retak hingga keruntuhan balok dapat dilihat pada Gambar 5.40.



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

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

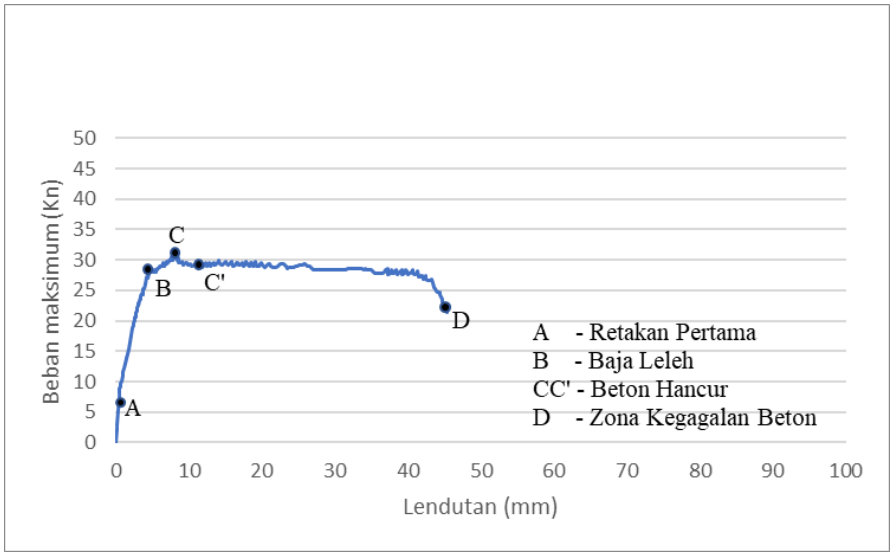
Balok beton bertulang BJ 02-1 mulai retak saat beban mencapai 6.132 kN, dengan lendutan 0.214 mm. Lendutan maksimum balok mencapai 8.834 mm saat beban mencapai 29.945 kN sebelum runtuh. Grafik retak hingga keruntuhan balok dapat dilihat pada Gambar 5.41.



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

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

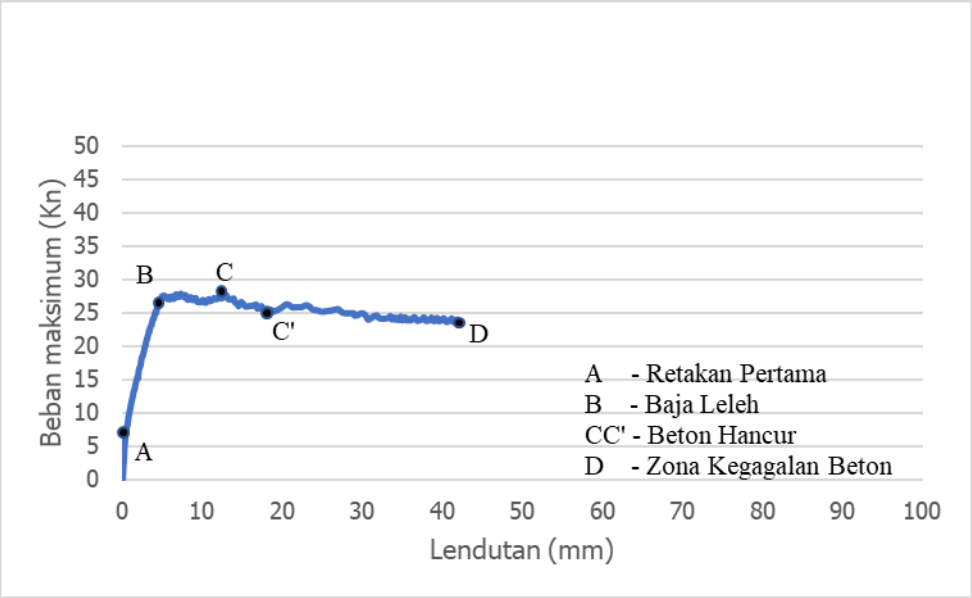
Balok beton bertulang BJ 02-2 mulai retak saat beban mencapai 6.694 kN, dengan lendutan 0.379 mm. Lendutan maksimum balok mencapai 6,638 mm saat beban mencapai 27.696 kN sebelum runtuh. Grafik retak hingga keruntuhan balok dapat dilihat pada Gambar 5.42.



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

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

Balok beton bertulang BJ 02-3 mulai retak saat beban mencapai 5,417 kN, dengan lendutan 0.272 mm. Lendutan maksimum balok mencapai 8,163 mm saat beban mencapai 30,558 kN sebelum runtuh. Grafik retak hingga keruntuhan balok dapat dilihat pada Gambar 5.43.

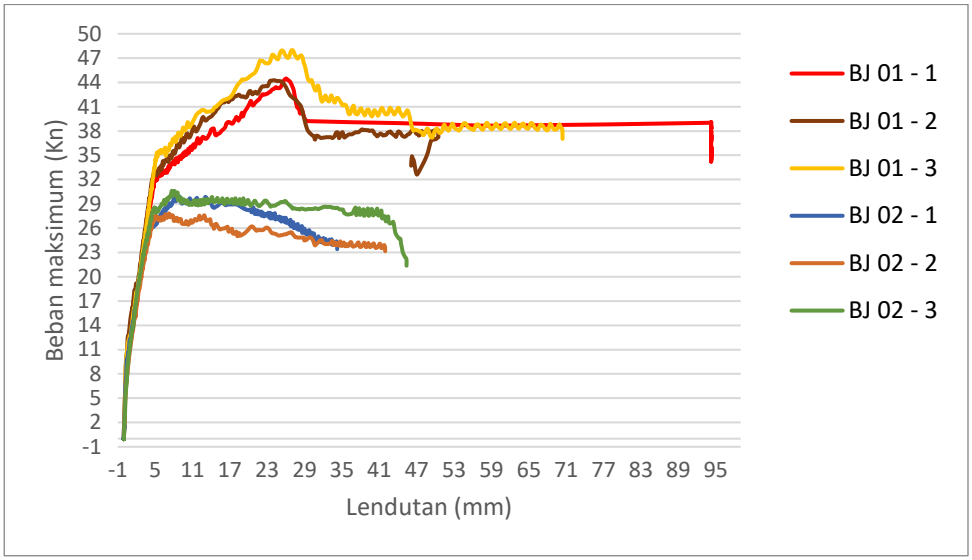


Gambar 5. 45 Grafik Retakan Pertama Hingga Kehancuran Balok Beton BJ 02-3

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

Tabel 5. 15 Hasil Rekapitulasi Lendutan Balok

Kode	Beban Pada Retak Pertama (kN)	Lendutan Retak Pertama (mm)	Beban Maksimum (kN)	Lendutan Pada Beban ultimate (mm)	Rerata Kapasitas Lendutan Retak Pertama(mm)	Rerata Lendutan Pada Beban ultimate (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	6,132	0,214	29,840	8,834	0,288	7,87
Bj 02 – 2	6,694	0,379	27,696	6,638		
Bj 02 - 3	5,417	0,272	30,558	8,163		



Gambar 5. 46 Grafik perbandingan lendutan BJ 01 dan BJ 02

Analisis data lendutan pada grafik di atas mengindikasikan bahwa substitusi tulangan baja konvensional dengan tulangan baja ringan berdampak signifikan pada perilaku defleksi balok. Hasil penelitian menunjukkan penurunan rata-rata lendutan sebesar 69% pada tahap retak pertama dan 59% pada tahap beban *ultimate* pada balok dengan tulangan baja ringan. Terlihat pada grafik BJ 02 langsung patah ini terjadi dikarenakan BJ 02 mengalami kegagalan pada saat di uji setelah 28 hari balok terlihat basah, beberapa faktor penyebabnya yaitu ketidaksempurnaan dalam pencampuran beton.

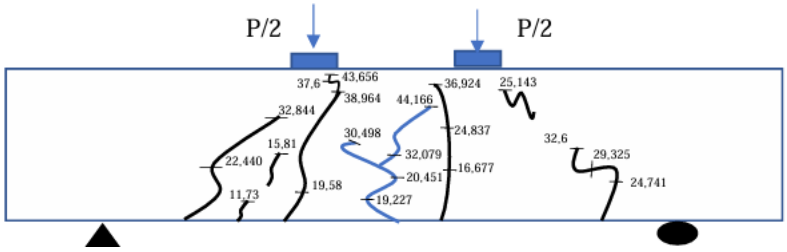
5.11 Analisis Pola Retak dan Keruntuhan Balok Bertulang Baja Ringan (Hollow) dan Baja Tulangan

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

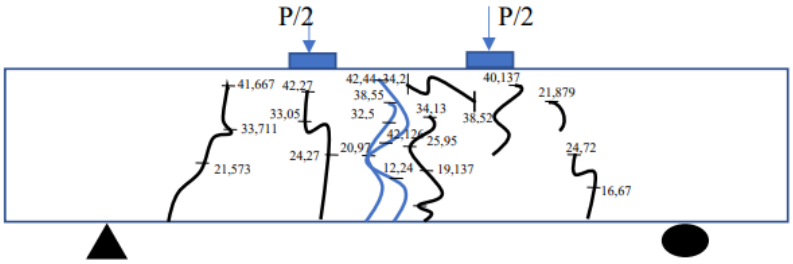
a. Balok beton bertulang baja

Balok beton tulangan baja 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

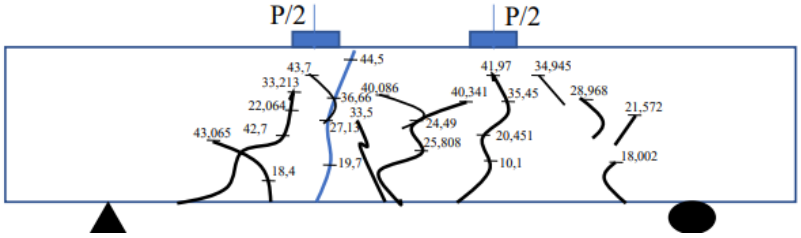
melebar ke atas sebelum akhirnya runtuh. Berikut merupakan pola retak yang terjadi pada BJ 01 yang dapat dilihat pada gambar 5.31 s.d. 5.33.



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



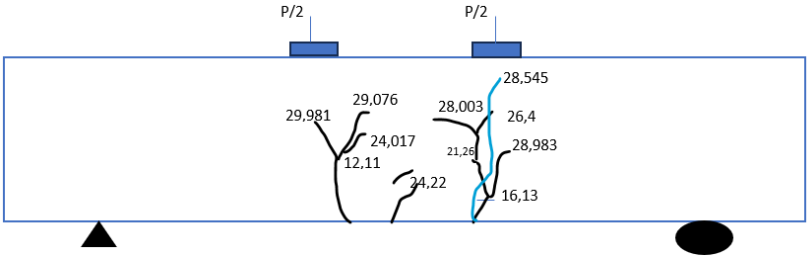
Gambar 5. 48 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 01-2



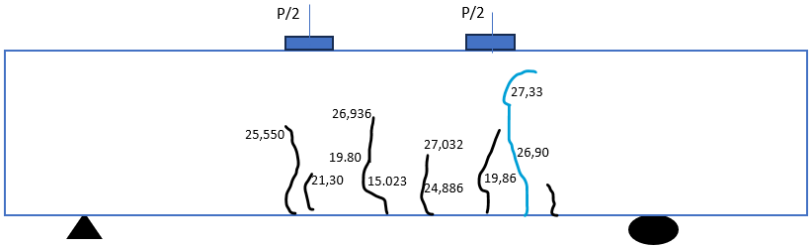
Gambar 5. 49 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 01-3

b. Balok beton bertulang baja ringan

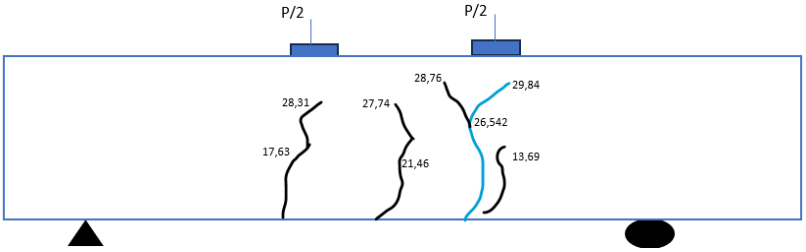
BJ 02 mengalami kegagalan pada betonnya, balok tersebut menerima beban maksimum kurang dari beban maksimum BJ 01. Berikut merupakan pola keruntuhan yang terjadi pada BJ 02 yang dapat dilihat pada Gambar di bawah.



Gambar 5. 50 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 02-1



Gambar 5. 51 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 02-2



Gambar 5. 52 Pola Keruntuhan Benda Uji BJ 02-3

5.12 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

Beban = 11,271 kN

Lendutan = 0,808 mm

Kekakuan = 11,271/0,808

= 13,9493 kN/mm

b. Kondisi saat *ultimate*

Beban = 44,472 kN

Lendutan = 26,22 mm

Kekakuan = 44,472/26,22

= 1,696 kN/mm

2. BJ 02 – 1

a. Kondisi saat retak pertama

Beban = 6,132 kN

Lendutan = 0,214 mm

Kekakuan = 6,132/0,214

= 28,654 kN/mm

b. Kondisi saat *ultimate*

Beban = 29,840 kN

Lendutan = 8,834 mm

Kekakuan = 29,840 / 8,834

= 3,377 kN/mm

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. 16 Hasil rekapitulasi kekakuan balok

Balok	Retak pertama		Kekakuan	Rata – rata kekakuan (kN/mm)	Kondisi *ultimate*		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	21,448		44,27	24,075	1,839	
Bj 01 – 3	12,2	0,808	15,099		47,99	27,084	1,772	
Bj 02 – 1	6,132	0,214	28,654	22,077	29,945	8,834	3,377	3,77
Bj 02 – 2	6,694	0,379	17,662		27,696	6,638	4,172	
Bj 02 - 3	5,417	0,272	19,915		30,558	8,163	3,743	

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. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan antara nilai momen nominal yang diukur secara eksperimental dan momen nominal yang dihitung secara teoritis tidak terlalu signifikan. Berdasarkan hasil analisis eksperimen terhadap momen nominal pada sampel beton bertulang baja, diperoleh rata-rata momen nominal sebesar 7,886 kNm untuk sampel BJ 01 dan 6,365 kNm untuk sampel BJ 02. Penurunan nilai momen nominal eksperimental tercatat sebesar 1,52 kNm dibandingkan dengan balok bertulang baja konvensional.
2. Berdasarkan analisis, balok bertulang baja (BJ 01) memiliki kuat lentur sebesar 10,801 MPa, sedangkan balok bertulang baja ringan (BJ 02) memengaruhi kuat lenturnya yang lebih rendah, yaitu 7,169 MPa. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa pengaruh balok bertulang baja ringan mengalami penurunan kuat lentur.
3. Penggunaan baja ringan menghasilkan rata-rata lendutan maksimal sebesar 7,87 mm, sementara balok beton dengan baja memiliki lendutan sebesar 25,793 mm. Dengan demikian, baja ringan mengurangi kapasitas lendutan maksimum, menunjukkan penurunan lendutan dibandingkan dengan baja tulangan.

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 selanjutnya tentang uji tekan silinder disarankan menggunakan dial untuk menentukan modulus elastis beton, sehingga karakteristik beton dapat dipahami dengan lebih jelas.
2. Sebelum merancang campuran, direkomendasikan untuk mencuci agregat terlebih dahulu karena sering kali mengandung bahan halus seperti pasta semen yang melekat pada permukaan agregat.
3. Pada studi berikutnya, peneliti dapat memasang strain gauge untuk mengukur regangan pada tulangan sebagai bagian dari penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Basyaruddin, B., Khala, C. C. S., Muslimin, M. S., & Putri, A. P. (2021). Uji lentur balok beton bertulang baja ringan dengan skema tulangan tunggal. *TERAS JURNAL: Jurnal Teknik Sipil*, *11*(1), 171-180.

Dewi, S. U., & Suandi, A. (2021). Analisa Kuat Lentur Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Profil Baja Ringan sebagai Tulangan. *Teknika Sains: Jurnal Ilmu Teknik*, *6*(1), 24-34.

Dewobroto, W. (2005). Simulasi keruntuhan balok beton bertulang tanpa sengkang dengan ADINATM. In *Prosiding Seminar Nasional "Rekayasa Material dan Konstruksi Beton 2005*.

Hastono, K. B. (2019). Penggunaan Baja Ringan (Cold-Formed) Type Hollow sebagai Tulangan pada Balok Beton Bertulang dalam Memikul Beban Lentur. *Kern: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, *3*(1).

Hunggurami, E., Bolla, M. E., & Messakh, P. (2017). Perbandingan Desain Campuran Beton Normal Menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656: 2012. *Jurnal Teknik Sipil*, *6*(2), 165-172.

Muhsar, M., Kadir, A., & Sulaiman, S. Penggunaan Limbah Nikel sebagai Material Subtitusi Agregat Kasar pada Beton K. 250. *Sultra Civil Engineering Journal*, *2*(1), 29-36.

Mulyono, A. (2014). Kajian Kuat Lekat Tulangan Bambu Wulung Bertakikan Tipe V Sejajar Dan Tidak Sejajar Dengan Jarak 40 MM Dan 50 MM Pada Beton Normal.

Nursyifa, Z., & Walujodjati, E. (2021). Analisis Kolom Beton Bertulang Baja Ringan. *Jurnal Konstruksi*, *19*(2), 418-429.

Nur, O. F. (2009). Kajian Eksperimental Perilaku Balok Beton Tulangan Tunggal Berdasarkan Tipe Keruntuhan Balok. *Jurnal Rekayasa Sipil*, *5*(2), 39-52.

Oktarinata, Y., Gunawan, I., & Manalu, D. F. (2020). Kapasitas Lentur Balok Komposit Beton Dengan Baja. In *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)* (Vol. 8, No. 2, pp. 76-84).

Puluhulawa, I., Sipil, J. T., Bengkalis, N., Alam, J. B., & Alam, S. (2011). Kapasitas Lentur Perkuatan Pelat Beton Bertulang Menggunakan Kabel Baja Dan Mortar. *vol*, *5*, 69-68.

Puryanto, P. (2013). Peranan Tulangan Tekan Pada Balok Terlentur Tulangan Rangkapuntuk Membangkitkan Momen Nominal. *PILAR*, *9*(2).

Prasetiyo, M. K. P. H., & Solikin, M. (2021). Pengaruh Penggunaan Baja Ringan Profil Hollow Terhadap Kuat Lentur Balok Beton. *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, *26*(2), 179-188.

Rizky Fajar Pratama, S. P. 2016. Analisis Kekakuan Struktur Balok Beton Bertulang Dengan Lubang Hollow Core Pada Tengah Balok. Malang: Universitas brawijaya.

Sanapang, C., Sumajouw, M. D., Pandaleke, R., & Dapas, S. O. 2013. Analisa lendutan pada struktur beton bertulang terhadap waktu (timedependent). jurnal sipil statik, 1(3)

Setiawan, A. (2008). Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRF D.

SNI 07-2529-1991. Metode Pengujian Kuat Tarik baja Beton.

SNI 03-1969-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar*.

SNI 03-1970-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Jakarta*.

SNI 03-1968-1990. *Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*.

SNI 03-4804-1998. *Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat*.

SNI 03-4142-1996. *Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan Nomor 200 (0.0075 mm)*.

SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. *Badan Standardisasi Nasional, Jakarta*.

SNI 03-4431-1997 Metode Pengujian Kuat Lentur Normal dengan Dua Titik Pembebanan. *Badan Standarisasi Nasional, Jakarta*.

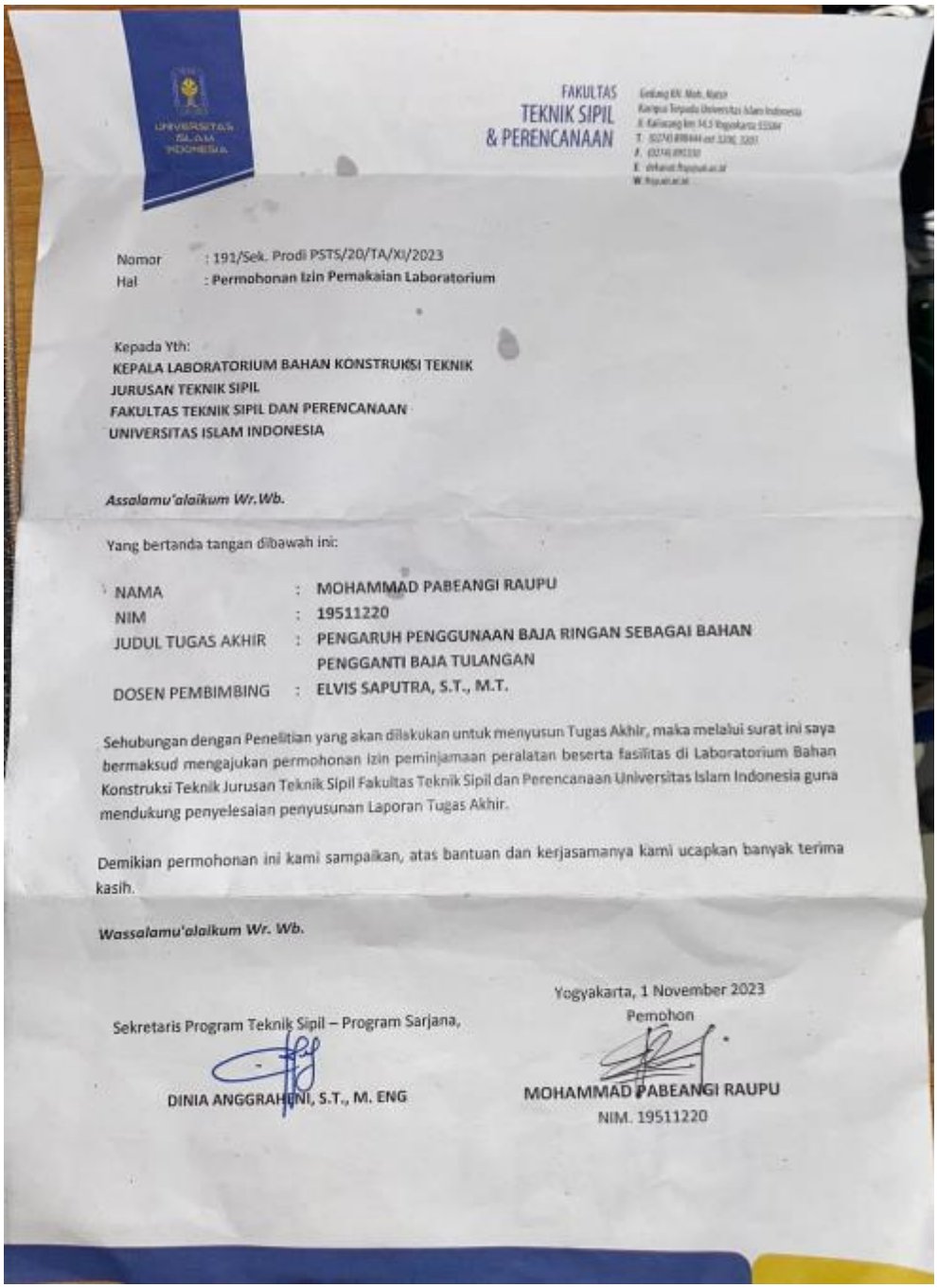
Ticoalu, P. E. E., Pangouw, J. D., & Dapas, S. O. (2015). Studi Komparasi Perhitungan Struktur Bangunan Dengan Menggunakan Sni 03-2847-2013 Dan British Standard 8110-1-1997. *Jurnal Sipil Statik*, *3*(10).

Umum, D. P. (2008). Cara Uji Slump Beton (SNI 1972: 2008). *Pusjatan-Balitbang PU. Indonesia*.

Ujianto, M. (2006). Lendutan dan Kekakuan Balok Beton Bertulang dengan Lubang Segi Empat di Badan.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 SURAT IZIN PEMAKAIAN LAB



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Nomor : 191/Sek. Prodi PSTS/20/TA/XI/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 Wr.Wb.

Yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA	:	MOHAMMAD PABEANGI RAUPU
NIM	:	19511220
JUDUL TUGAS AKHIR	:	PENGARUH PENGGUNAAN BAJA RINGAN SEBAGAI BAHAN PENGGANTI BAJA TULANGAN
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 peminjamaan peralatan beserta fasilitas di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia guna mendukung penyelesaian penyusunan Laporan Tugas Akhir.

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

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 1 November 2023

Sekretaris Program Teknik Sipil – Program Sarjana,

DINIA ANGGRAHENI, S.T., M. ENG

Pemohon

MOHAMMAD PABEANGI RAUPU
NIM. 19511220

Gambar L-1. 1 Surat izin pemakaian lab

LAMPIRAN 2 ALAT DAN BAHAN

Gambar L-2. 1 Cetakan Silinder

Gambar L-2. 2 Kerucut *abrams*

Gambar L-2. 3 Tongkat penumbuk

Gambar L-2. 4 *Mixer concreate*

Gambar L-2. 5 Palu karet

Gambar L-2. 6 Saringan Agregat

Gambar L-2. 7 Timbangan ohauss

Gambar L-2. 8 Cangkul

Gambar L-2. 9 Ember

Gambar L-2. 10 Oven

Gambar L-2. 11 Tulangan BJ 01 dan BJ 02

Gambar L-2. 12 Bekisting balok

Gambar L-2. 13 Mesin uji kuat tekan

LAMPIRAN 3 DOKUMENTASI PENGERJAAN SAMPEL

Gambar L-3. 1 Pemasangan tulangan

Gambar L-3. 2 Pengisian beton segar

Gambar L-3. 3 Perawatan balok

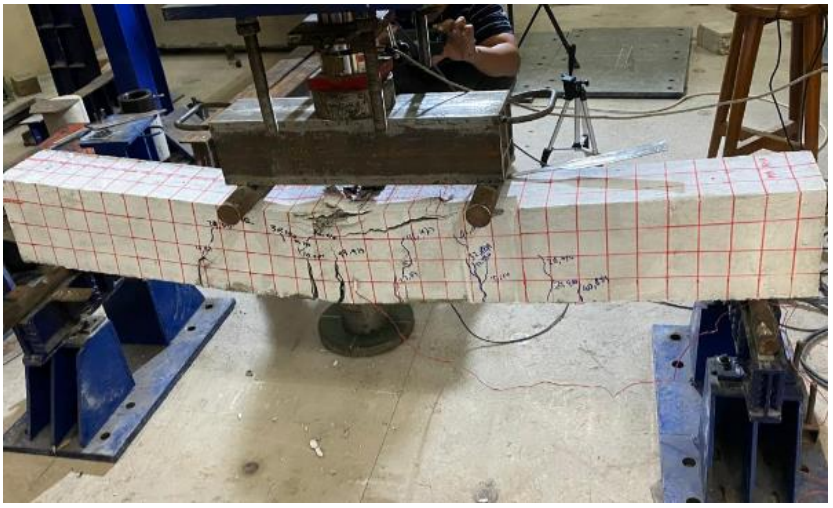
Gambar L-3. 4 Balok di cat

LAMPIRAN 4 DOKUMENTASI PENGUJIAN

Gambar L-4. 1 Penimbangan benda uji

Gambar L-4. 2 Peletakan benda uji

Gambar L-4. 3 Proses pengujian



Gambar L-4. 4 Benda uji setelah di uji

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 -2			
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 -3			
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 02 -1			
Date Time	Beban (Kn)	LVDT 1	LVDT 2
28/11/2023 11:44	0	0	0
28/11/2023 11:44	0.92	-0.01	0
28/11/2023 11:44	3.628	0.136	0.235
28/11/2023 11:44	4.497	0.155	0.254
28/11/2023 11:44	5.468	0.194	0.283
28/11/2023 11:44	6.132	0.214	0.293
28/11/2023 11:44	7.001	0.272	0.313
28/11/2023 11:44	7.665	0.369	0.323
28/11/2023 11:44	8.534	0.389	0.332
28/11/2023 11:44	9.3	0.428	0.342
28/11/2023 11:44	9.709	0.447	0.352
28/11/2023 11:44	10.016	0.583	0.469
28/11/2023 11:44	10.22	0.622	0.489
-			
-			
-			
28/11/2023 11:46	29.127	11.04	10.732
28/11/2023 11:46	29.178	11.176	11.016
28/11/2023 11:46	29.28	11.38	11.221
28/11/2023 11:46	29.536	11.545	11.485
28/11/2023 11:46	29.74	11.73	11.485
28/11/2023 11:46	29.587	11.808	11.661
28/11/2023 11:47	29.28	12.041	11.964
28/11/2023 11:47	29.178	12.128	12.218
28/11/2023 11:47	29.229	12.284	12.276
28/11/2023 11:47	29.331	12.507	12.491
28/11/2023 11:47	29.382	12.643	12.697
28/11/2023 11:47	29.536	12.867	12.765
28/11/2023 11:47	29.842	13.061	12.98
28/11/2023 11:47	29.791	13.207	13.058

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

BJ 02 -2			
Date Time	Beban (Kn)	LVDT 1	LVDT 2
28/11/2023 14:27	0	0.01	0
28/11/2023 14:27	0.562	0.029	0
28/11/2023 14:27	2.299	0.107	0.02
28/11/2023 14:27	3.475	0.175	0.02
28/11/2023 14:27	4.701	0.214	0.264
28/11/2023 14:27	5.723	0.292	0.274
28/11/2023 14:27	6.694	0.379	0.313
28/11/2023 14:27	8.023	0.544	0.489
28/11/2023 14:27	8.074	0.593	0.547
28/11/2023 14:27	9.198	0.709	0.635
28/11/2023 14:27	10.935	0.982	0.958
28/11/2023 14:27	12.264	1.224	1.046
28/11/2023 14:27	13.184	1.38	1.31
-			
-			
-			
28/11/2023 14:28	27.134	5.569	5.395
28/11/2023 14:28	26.981	5.607	5.425
28/11/2023 14:28	27.338	5.85	5.649
28/11/2023 14:28	26.93	5.889	5.679
28/11/2023 14:28	27.134	6.132	5.992
28/11/2023 14:28	27.39	6.249	6.04
28/11/2023 14:28	27.032	6.414	6.246
28/11/2023 14:28	27.696	6.638	6.451
28/11/2023 14:28	27.492	6.725	6.51
28/11/2023 14:28	27.287	6.948	6.764
28/11/2023 14:28	27.798	7.211	7.067
28/11/2023 14:28	27.696	7.328	7.145
28/11/2023 14:28	27.338	7.483	7.292
28/11/2023 14:28	27.594	7.755	7.546

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

BJ 02 -3			
Date Time	Beban (Kn)	LVDT 1	LVDT 2
01/12/2023 14:42	0	0	0
01/12/2023 14:42	2.351	0.126	0.068
01/12/2023 14:42	2.81	0.175	0.088
01/12/2023 14:42	5.417	0.272	0.156
01/12/2023 14:42	7.154	0.486	0.176
01/12/2023 14:42	8.227	0.534	0.401
01/12/2023 14:42	8.891	0.564	0.411
01/12/2023 14:42	9.198	0.68	0.42
01/12/2023 14:42	9.709	0.719	0.42
01/12/2023 14:42	10.169	0.758	0.44
01/12/2023 14:42	11.14	0.952	0.674
01/12/2023 14:42	11.702	1.011	0.704
01/12/2023 14:42	12.213	1.118	0.889
-			
-			
-			
01/12/2023 14:43	28.565	5.753	5.415
01/12/2023 14:43	28.769	5.996	5.698
01/12/2023 14:43	29.025	6.074	5.728
01/12/2023 14:43	28.923	6.317	5.904
01/12/2023 14:43	29.485	6.472	5.933
01/12/2023 14:43	28.923	6.647	6.168
01/12/2023 14:43	29.689	6.91	6.207
01/12/2023 14:43	29.382	6.939	6.392
01/12/2023 14:43	29.689	7.221	6.637
01/12/2023 14:43	29.893	7.269	6.686
01/12/2023 14:43	29.842	7.473	6.91
01/12/2023 14:43	30.609	7.687	7.233
01/12/2023 14:43	29.945	7.755	7.223
01/12/2023 14:43	30.558	8.008	7.38