



**ANALISA PERBANDINGAN PERKUATAN GAYA DESAK
BALOK BETON T MENGGUNAKAN PLAT BAJA DENGAN
MEDIA PENGHUBUNG *EPOXY* DAN BAUT**

Skripsi

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan

Oleh

Wage Dwi Fitriyandi

NIM. 5101418043

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2023**

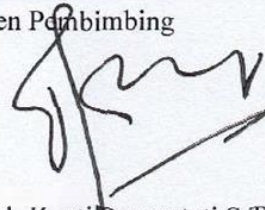
PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Wage Dwi Fitriyandi
NIM : 5101418043
Program Studi : Pendidikan Teknik Bangunan, S1
Judul : Analisa Perbandingan Perkuatan Gaya Desak Balok Beton T menggunakan Plat Baja Dengan Media Penghubung Epoxy dan Baut

Skripsi berikut telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia Ujian Skripsi program studi Pendidikan Teknik Bangunan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 26 Desember 2022

Dosen Pembimbing



Endah Kanti Pangestuti S.T., M.T.

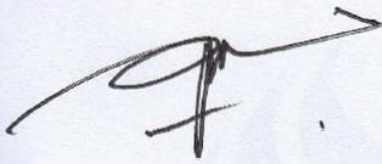
NIP. 197207091998032003

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada hari Kamis, 5 Januari 2023

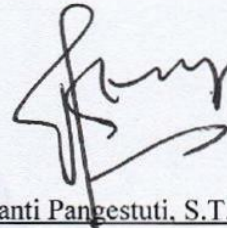
Panitia

Ketua



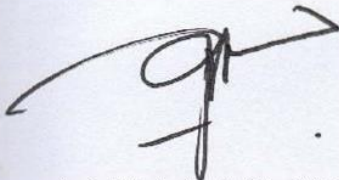
Aris Widodo, S.Pd., M. T.
NIP. 197102071999031001

Sekretaris



Endah Kanti Pangestuti, S.T., M.T.
NIP. 197207091998032003

Penguji 1



Aris Widodo, S.Pd., M. T.
NIP. 197102071999031001

Penguji 2



Ir. Agung Sutarto, M.T.
NIP. 196104081991021001

Penguji 3 / Pembimbing



Endah Kanti Pangestuti, S.T., M.T.
NIP. 197207091998032003

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP. 196911301994031001

KEASLIAN PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Wage Dwi Fitriyandi

NIM : 5101418043

Program Studi : Pendidikan Teknik Bangunan

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa penulisan naskah skripsi yang berjudul “ Analisa Perbandingan Perkuatan Gaya Desak Balok Beton T menggunakan Plat Baja Dengan Media Penghubung Epoxy dan Baut” sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang adalah karya saya sendiri.

Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 23 Desember 2022

Yang membuat pernyataan,



Wage Dwi Fitriyandi

NIM. 5101418043

ABSTRAK

Wage Dwi Fitriyandi. 2023. *Analisa Perbandingan Perkuatan Gaya Desak Balok Beton T Menggunakan Plat Baja Dengan Media Penghubung Epoxy dan Baut.* Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Beton merupakan material utama yang sering dijumpai dalam konstruksi sipil. Beton banyak dipakai dalam pembuatan rumah, gedung, jalan, jembatan serta fasilitas umum lainnya. Meskipun beton bertulang dirancang sesuai dengan standar, proses konstruksinya tidak selalu cukup hati-hati. Akibatnya, bangunan cenderung menunjukkan gejala kerusakan. Oleh karenanya diperlukan adanya suatu metode perbaikan dan perkuatan yang bertujuan untuk mengembalikan kekuatan struktur. Dalam penelitian ini balok beton bertulang diuji dengan menambahkan plat baja sebagai perkuatan yang diletakkan di bagian atas (desak) balok beton bertulang dengan media pengikat lem epoxy dan juga baut.

Sampel balok yang dibuat dalam penelitian ini merupakan Balok T dengan dimensi tinggi 25 cm, lebar flens 30 cm, lebar badan 15 cm serta panjang bentang 120 cm. Sample balok yang dibuat berjumlah 5 buah dengan rincian 1 balok kontrol dan 4 Buah balok perkuatan yang dibuat dengan mutu beton yang sama dengan kuat tekan rencana sebesar 10 MPa. 2 buah balok perkuatan diperkuat menggunakan plat baja dengan ketebalan yang sama yaitu 2 mm dengan lebar 30 cm menggunakan media pengikat baut dan 2 balok perkuatan lainnya menggunakan menggunakan perkuatan yang sama akan tetapi dengan media penghubung lem epoxy.

Hasil penelitian dan analisis menunjukkan peningkatan kapasitas pada balok. Dengan menganggap balok kontrol memiliki perkuatan sebesar 0%, maka peningkatan kapasitas balok T dengan media penghubung baut meningkat sebesar 8,23%-9,16%, sedangkan perkuatan balok T dengan media penghubung lem epoxy meningkat sebesar 26,82 % - 28,02%.

Kata Kunci: *Balok T, Beton Bertulang, Plat Baja, Perkuatan Desak, Perkuatan Struktur*

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “Analisa Perbandingan Perkuatan Gaya Desak Balok Beton T menggunakan Plat Baja Dengan Media Penghubung Epoxy dan Baut” sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan.

Dengan segala hormat penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang sudah membantu penelitian ini baik itu langsung maupun tidak langsung. Ucapan terimakasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. S. Martono, M. Si., Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Prof. Dr. Nur Qudus, M. T., IPM., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
3. Aris Widodo, S. Pd., M. T., Ketua Jurusan dan Ketua Prodi Pendidikan Teknik Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang sekaligus Dosen Penguji I.
4. Endah Kanti Pangestuti, S. T., M. T., Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan serta pengarahan dalam membuat skripsi.
5. Ir. Agung Sutarto, M. T. , selaku Dosen Penguji II.
6. Alm. Drs. Hery Suroso, S. T., M. T., yang telah memberikan bimbingan serta pengarahan dalam proses awal pembuatan skripsi.
7. Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
8. Ir. Eko Nugroho Julianto, S. Pd., M. T., IPP, selaku kepala Laboratorium Bahan Bangunan yang telah memberikan ijin untuk melakukan penelitian.
9. Fahrudin A,Md, selaku Pranata Laboratorium Pendidikan Pertama dan Teknisi Laboratorium yang telah membantu proses penelitian.
10. Kedua orang tua dan keluarga yang telah mendidik dan membimbing.
11. Rekan-rekan penelitian yang membantu dalam melaksanakan penelitian.
12. Rekan-rekan Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan angkatan 2018 yang selalu mendukung baik langsung maupun tidak langsung
13. Berbagai pihak yang telah membantu dalam hal apapun dan tidak bisa disebutkan satu per satu.

Peneliti sadar bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan baik dari penulisan maupun dari isi. Oleh karena itu, penulis membutuhkan kritik dan saran dari pembaca guna kebaikan penelitian ini. Semoga penelitian ini bermanfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Semarang, 23 Desember 2022

Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Wage Dwi Fitriyandi', written in a cursive style.

Wage Dwi Fitriyandi

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| PERSETUJUAN PEMBIMBING..... | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | iii |
| KEASLIAN PENELITIAN | iv |
| ABSTRAK | v |
| PRAKATA..... | vi |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR TABEL..... | x |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xiii |
| DAFTAR SIMBOL..... | xiv |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1. Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2. Identifikasi Masalah | 2 |
| 1.3. Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.4. Rumusan Masalah | 3 |
| 1.5. Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.6. Manfaat Penelitian..... | 3 |
| BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI | 4 |
| 2.1. Kajian Pustaka | 4 |
| 2.2. Landasan Teori | 6 |
| 2.2.1. Beton dan Beton Bertulang | 6 |
| 2.2.2. Bahan Penyusun Beton | 7 |
| 2.2.3. Kuat Beton Terhadap Gaya Tekan dan Tarik | 12 |
| 2.2.4. Balok Bertulangan Kuat (<i>Over-Reinforced</i>) | 13 |
| 2.2.5. Pengertian Umum Balok T..... | 14 |
| 2.2.6. Analisis Balok T..... | 14 |
| 2.2.7. Perkuatan Pada Balok Beton..... | 19 |
| 2.2.8. Formula Perkuatan Pada Balok T | 19 |
| 2.2.9. Karakteristik Plat Baja | 21 |

| | | |
|--|---|----|
| 2.2.10 | Karakteristik Epoxy (Sikadur-31 CF Normal)..... | 21 |
| 2.2.11 | Pola Keruntuhan Pada Balok | 22 |
| 2.2.12 | Pola Retak Pada Balok | 23 |
| BAB III METODE PENELITIAN | | 25 |
| 3.1. | Tepat dan Waktu Penelitian..... | 25 |
| 3.2. | Teknik Pengumpulan Data | 25 |
| 3.3. | Alat dan Bahan | 25 |
| 3.4. | Benda Uji..... | 27 |
| 3.5. | Tahapan dan Prosedur Penelitian | 29 |
| 3.6. | Uji Bahan..... | 32 |
| 3.6.1. | Pengujian Tarik Plat Baja | 32 |
| 3.6.2. | Pengujian <i>Slump</i> | 32 |
| 3.6.3. | Pengujian Kuat Tekan Beton | 32 |
| 3.7. | Pembuatan Benda Uji..... | 33 |
| 3.8. | <i>Set Up</i> Pengujian Balok..... | 33 |
| 3.9. | Analisis data hasil penelitian | 34 |
| BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN | | 35 |
| 4.1. | Analisa Bahan Penyusun Beton | 35 |
| 4.2. | <i>Mix Design</i> Beton | 41 |
| 4.3 | Pengujian <i>Slump</i> | 42 |
| 4.4 | Pengujian Kuat Tekan Beton..... | 42 |
| 4.5 | Pengujian Kuat Tarik Plat Baja | 43 |
| 4.6 | Pengujian Balok T | 43 |
| 4.7 | Analisa Kuat Lentur Balok T | 53 |
| 4.8 | Penambahan kuat desak Balok T..... | 59 |
| 4.9 | Kelebihan dan Kekurangan Perkuatan Desak | 60 |
| 4.10 | Perbandingan Balok Kontrol dan Balok Perkuatan..... | 62 |
| BAB V PENUTUP..... | | 65 |
| 5.1. | Kesimpulan..... | 65 |
| 5.2. | Saran | 66 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 67 |
| LAMPIRAN | | 69 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2. 1 Dimensi Efektif Tulangan Polos | 9 |
| Tabel 2. 2 Dimensi Efektif Tulangan Ulir | 10 |
| Tabel 2. 3 Diameter Tulangan dan Berat | 11 |
| Tabel 2. 4 Karakteristik Epoxy | 22 |
| Tabel 3. 1 Daftar Benda Uji | 27 |
| Tabel 4. 1 Hasil Uji Berat Jenis Pasir | 35 |
| Tabel 4. 2 Hasil Uji Bobot Isi Pasir | 36 |
| Tabel 4. 3 Hasil Uji Kadar Lumpur Pasir | 37 |
| Tabel 4. 4 Hasil Uji Gradasi Pasir..... | 37 |
| Tabel 4. 5 Hasil Uji Berat Jenis Kerikil | 38 |
| Tabel 4. 6 Hasil Uji Bobot Isi Kerikil | 39 |
| Tabel 4. 7 Hasil Uji Bobot Isi Kerikil | 40 |
| Tabel 4. 8 Hasil Uji Gradasi Kerikil | 40 |
| Tabel 4. 9 Kebutuhan Material per 1 m ³ | 41 |
| Tabel 4. 10 Total Kebutuhan Benda Uji Silinder..... | 41 |
| Tabel 4. 11 Total Kebutuhan Benda Uji Balok..... | 42 |
| Tabel 4. 12 Hasil Uji Kuat Tekan Sampel Silinder..... | 42 |
| Tabel 4. 13 Kuat Tarik Plat Baja..... | 43 |
| Tabel 4. 14 Data Teknis Balok Kontrol | 43 |
| Tabel 4. 15 Lendutan Balok Kontrol..... | 44 |
| Tabel 4. 16 Data Teknis BP 1(1)..... | 45 |
| Tabel 4. 17 Lendutan BP 1(1)..... | 46 |
| Tabel 4. 18 Data Teknis BP 1(2)..... | 47 |
| Tabel 4. 19 Lendutan BP 1(2)..... | 48 |
| Tabel 4. 20 Data Teknis BP 2(1)..... | 49 |
| Tabel 4. 21 Lendutan BP 2(1)..... | 50 |
| Tabel 4. 22 Data Teknis BP 2(2)..... | 51 |
| Tabel 4. 23 Lendutan BP 2(2)..... | 52 |
| Tabel 4. 24 Tabulasi Momen dan Beban Maksimum Balok T | 58 |
| Tabel 4. 25 Persentase Penambahan Kapasitas Kuat Desak | 59 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2. 1 Baja Tulangan Polos..... | 10 |
| Gambar 2. 2 Baja Tulangan Ulir | 10 |
| Gambar 2. 3 Kurva Tegangan-Regangan Batang Tulangan Baja | 12 |
| Gambar 2. 4 Diagram Regangan-Tegangan Beton <i>Over Reinforced</i> | 13 |
| Gambar 2. 5 Balok Persegi, Balok “T” dan Diagram Tegangan Balok..... | 14 |
| Gambar 2. 6 Garis Netral Terletak diatas <i>Flens</i> ($c < hf$)..... | 15 |
| Gambar 2. 7 Garis Netral (c) Jatuh di bawah <i>Flens</i> ($c > hf$)..... | 16 |
| Gambar 2. 8 Diagram Alur Analisis Balok T | 18 |
| Gambar 2. 9 Diagram Tegangan Regangan Balok T Perkuatan | 19 |
| Gambar 2. 10 Retak Lentur | 23 |
| Gambar 2. 11 Retak Geser | 23 |
| Gambar 2. 12 Retak Geser Lentur..... | 24 |
| Gambar 2. 13 Retak Torsi | 24 |
| Gambar 3. 1 (A) Penampang Balok Kontrol, (B) Penampang BP 1, (C) Penampang BP 2 | 28 |
| Gambar 3. 2 Penampang Memanjang Benda Uji..... | 28 |
| Gambar 3. 3 Penampang Balok Perkuatan..... | 28 |
| Gambar 3. 4 Diagram Alur Penelitian..... | 31 |
| Gambar 3. 5 Alat Uji Lentur Balok..... | 34 |
| Gambar 4. 1 Grafik Gradasi Pasir..... | 38 |
| Gambar 4. 2 Grafik Gradasi Kerikil..... | 41 |
| Gambar 4. 3 Uji Kuat Tekan..... | 43 |
| Gambar 4. 4 Lendutan Pada Balok Kontrol | 44 |
| Gambar 4. 5 Grafik Lendutan Balok Kontrol | 45 |
| Gambar 4. 6 Lendutan Pada Balok Perkuatan Baut..... | 46 |
| Gambar 4. 7 Grafik Lendutan Balok BP1(1) | 47 |
| Gambar 4. 8 Lendutan Pada Balok Perkuatan Baut..... | 48 |
| Gambar 4. 9 Grafik Lendutan Balok BP1(2) | 49 |
| Gambar 4. 10 Lendutan Pada Balok BP 2(1)..... | 50 |
| Gambar 4. 11 Grafik Lendutan Balok BP 2(1) | 51 |
| Gambar 4. 12 Lendutan Pada BP 2 (2) | 52 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4. 13 Grafik Lendutan Balok BP 2(2) | 53 |
| Gambar 4. 14 Tinggi Balok Setelah Penambahan Plat | 56 |
| Gambar 4. 15 Grafik Persentase Penambahan Kuat Desak | 60 |
| Gambar 4. 16 Grafik Perbandingan Lendutan Semua Benda Uji | 62 |
| Gambar 4. 17 Retak Awal Balok Kontrol | 63 |
| Gambar 4. 18 Retak Awal Balok Perkuatan | 63 |
| Gambar 4. 19 Pola Retak Balok Kontrol | 64 |
| Gambar 4. 20 Pola Retak Balok Perkuatan | 64 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| PEMERIKSAAN ANALISA GRADASI AGREGAT HALUS (PASIR)..... | 70 |
| PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS | 71 |
| PEMERIKSAAN BOBOT ISI AGREGAT HALUS (PASIR) | 72 |
| PEMERIKSAAN KADAR LUMPUR DAN LEMPUNG PADA AGREGAT HALUS . | 74 |
| PEMERIKSAAN ANALISA GRADASI KASAR (KERIKIL)..... | 75 |
| PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR | 77 |
| PEMERIKSAAN BOBOT ISI AGREGAT KASAR (KERIKIL)..... | 78 |
| PEMERIKSAAN KADAR LUMPUR DAN LEMPUNG PADA AGREGAT KASAR . | 79 |
| PEMERIKSAAN KEAUSAN PADA AGREGAT KASAR..... | 80 |
| PEMERIKSAAN WAKTU PENGIKAT SEMEN..... | 81 |
| PEMERIKSAAN KUAT TEKAN BETON | 82 |
| PEMERIKSAAN KUAT TARIK PLAT BAJA | 83 |
| DOKUMENTASI | 84 |

DAFTAR SIMBOL

| | |
|--------------|---|
| \emptyset | = Diameter Tulangan Polos (mm) |
| β_1 | = Koefisien whitney untuk blok tekan (0,85) |
| Φ | = faktor Reduksi |
| ϵ_s | = Regangan Baja |
| ϵ_c | = Regangan Beton |
| f'_c | = Kuat Tekan Beton (MPa) |
| f_y | = Tegangan Baja (MPa) |
| f_s | = Tegangan Baja Sebelum Luluh (MPa) |
| A_s | = Luas Tulangan Baja (mm ²) |
| a | = Tinggi Blok Tekan (mm) |
| b | = Lebar Balok (mm) |
| b_e | = Lebar Efektif sayap Balok (mm) |
| c | = Garis Netral (mm) |
| C | = Gaya yang bekerja pada beton (N) |
| d | = Tinggi Efektif Balok (mm) |
| E_c | = Modulus Elastisitas Beton |
| E_s | = Modulus Elastisitas Baja (200.000 MPa) |
| h | = Tinggi Balok (mm) |
| L | = Panjang Bentang Balok (mm) |
| M_n | = Momen Nomina (N.m) |
| T | = gaya yang bekerja pada tulangan Baja (N) |
| h_f | = Tinggi sayap balok T |
| ρ | = Rasio Tulangan |
| ρ_b | = Rasio Tulangan Seimbang |
| ρ_w | = Rasio Tulangan Minimum |
| W_c | = Berat Jenis Beton (kg/m ³) |

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton bertulang adalah gabungan material antara beton dan tulangan baja yang membentuk struktur komposit. Material beton mempunyai sifat keruntuhan getas, yaitu dapat runtuh secara tiba-tiba jika beban yang bekerja melebihi kekuatan material, sebaliknya material baja memiliki sifat keruntuhan duktail yaitu keruntuhan tidak terjadi tiba-tiba tetapi akan meluluh terlebih dahulu jika beban yang bekerja melebihi kekuatan material (Dipohusodo, 1993).

Beton merupakan material utama yang sering dijumpai dalam konstruksi sipil. Beton banyak dipakai dalam pembuatan rumah, gedung, jalan, jembatan serta fasilitas umum lainnya. Meskipun beton bertulang dirancang sesuai dengan standar, proses konstruksinya tidak selalu cukup hati-hati. Akibatnya, bangunan cenderung menunjukkan gejala kerusakan. Seperti halnya yang terjadi pada proyek rehabilitasi sekolah SDN 01 Cikaret Kabupaten Bogor terjadi penurunan mutu beton pada balok menjadi $79,49 \text{ kg/cm}^2$ atau 6.6 MPa (gaya satuan luas), hal ini mengakibatkan proyek rehabilitasi sekolah tersebut harus dikaji ulang (Lufi & Subtoni, 2017).

Kondisi yang terjadi di lapangan adalah balok beton bertulang dengan kualitas beton yang rendah dan baja tulangan belum luluh maka keruntuhan tekan pada balok beton bertulang bisa saja terjadi. Jenis keruntuhan ini sering juga disebut kondisi *over reinforced*. Karena sifat beton yang seharusnya didesain untuk kuat menahan tekan, namun jika keruntuhan sudah terjadi pada umumnya hal yang dilakukan adalah pembongkaran struktur beton. Mengingat efisiensi biaya dan efektifitas waktu dalam pekerjaan konstruksi, kemudian sebuah metode perkuatan diperlukan. Plat baja memiliki sifat yang relatif kuat terhadap Tarik dan tekan. Jika dipergunakan sebagai material perkuatan untuk mengembalikan fungsi balok beton bertulang dengan kondisi *over reinforced*, hal ini memungkinkan untuk menghindari pembongkaran suatu struktur.

Oleh karenanya diperlukan adanya suatu metode perbaikan dan perkuatan yang bertujuan untuk mengembalikan kekuatan struktur. Dalam penelitian ini balok beton bertulang diuji dengan menambahkan plat baja sebagai perkuatan

yang diletakkan di bagian atas (desak) balok beton bertulang dengan media pengikat lem epoxy dan juga baut.

1.2. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Besarnya gaya desak beton yang terjadi pada balok T yang diberi beban maksimum
2. Besarnya lendutan yang terjadi pada balok T setelah diberi beban maksimum

1.3. Batasan Masalah

Batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Benda uji balok beton bertulang menggunakan cetakan dengan dimensi L (panjang bentang) 1200 mm; b (lebar) 150 mm; h (tinggi) 250 mm; bf (lebar flens) 300 mm; hf (tinggi flens) 75 mm.
2. Kuat tekan beton ($f'c$) yang digunakan sebesar 10 MPa
3. Agregat yang digunakan adalah agregat halus yaitu pasir muntilan dan agregat kasar berupa dengan bahan ikat semen gresik.
4. Baja tulangan yang digunakan adalah baja polos dengan diameter sebagai berikut :

| | |
|-------------------|---------------------|
| Tulangan bawah | : \emptyset 16 mm |
| Tulangan atas | : \emptyset 8 mm |
| Tulangan sengkang | : \emptyset 8 mm |
5. Plat baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat dengan ketebalan 2.0 mm dengan lebar yaitu 300 mm.
6. Sambungan geser antara balok T dengan plat baja menggunakan dynabolt ukuran 10 mm dengan panjang 100 mm
7. Perekat balok T dengan plat baja menggunakan Lem Sikadur 31 CF Normal.
8. Pengujian kuat tekan beton silinder diameter 150 mm berjumlah 3 buah pada umur 28 hari.
9. Pengujian balok T hanya berupa uji kuat lentur, lendutan dan pola retak.
10. Pengujian kuat tekan beton sesuai SNI 1974:2011

11. Pengujian kuat lentur balok normal dengan dua titik pembebanan sesuai SNI 4331:2011

1.4. Rumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi bahasan utama dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana besar gaya desak beton yang terjadi pada balok T yang diberi perkuatan plat baja dengan lem epoxy dan dynabolt pada beban maksimum ?
2. Bagaimana lendutan yang terjadi pada balok T yang diberi perkuatan plat baja dengan lem epoxy dan dynabolt setelah diberi beban maksimum ?

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui besar tegangan desak beton yang terjadi pada balok T yang diberi perkuatan plat baja dengan lem epoxy dan dynabolt pada beban maksimum.
2. Mengetahui lendutan yang terjadi pada balok T yang diberi perkuatan plat baja dengan lem epoxy dan dynabolt setelah diberi beban maksimum.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa didapatkan dari penelitian yang dilakukan yaitu bertambahnya ilmu pengetahuan dan pemahaman mengenai permasalahan teknologi beton bertulang, khususnya mengenai perkuatan tegangan desak balok dengan menggunakan plat baja pada struktur beton bertulang.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Eksperimen yang dilakukan oleh Arslan dkk (2008) yang berjudul “Steel plate contribution to load-carrying capacity of retrofitted RC beams” menyatakan

(1) Balok beton bertulang yang diberi perbaikan plat baja di bagian bawah dan samping dapat meningkatkan daktilitas dan mengalami defleksi besar sebelum terjadinya keruntuhan.

(2) Dapat dipastikan bahwa perkuatan plat baja pada balok beton bertulang yang rusak dapat meningkatkan kapasitas beban ultimit sebesar 1.2 hingga 2,3 kali lipat dari kapasitas awal.

(3) Kegagalan awal balok dapat dilihat saat ujung plat baja yang terkelupas dari beton. Perawatan khusus telah dilakukan pada plat baja untuk semua kerusakan balok, akan tetapi gesekan antara plat beton dan baja tidak dapat dihindarkan.

(4) Panjang plat samping harus sama dengan ukuran panjang plat bawah, dikarenakan plat samping mencegah perluasan retakan, yang terbentuk dari plat bawah ke titik pembebanan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Endah Kanti Pangestuti (2009) yang berjudul “Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Plate Sebagai Bahan Komposit Eksternal pada Struktur Balok Beton Bertulang” menyatakan bahwa :

(1) Penambahan plat CFRP dapat menghambat munculnya *first crack* dimana beban saat retak awal meningkat 50% dari 1,2 ton menjadi 1,8 ton

(2) Meningkatkan beban ultimit kuat lentur balok sebesar 68% dari 5,1 ton menjadi 7,6 ton,

(3) Daktilitas balok menurun 73%, dan lendutan balok turun 77,6%.

(4) Pola keruntuhan yang terjadi adalah *debonding failure* yaitu lepasnya ikatan antara beton dan plat CFRP

Menurut Kader dan Jaya (2013) dalam jurnalnya yang berjudul “Analisis Pola Retak dan Mekanisme Kegagalan Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan Lentur Lembar CFRP” bahwa :

(1) pola retak yang balok yang diberikan perkuatan dapat mengurangi jumlah dan intensitas retakan yang terjadi dan berpengaruh juga pada beban untuk mencapai retakan awal membutuhkan beban yang lebih besar dari pada balok yang tidak diberi perkuatan.

(2) Balok-T dengan mutu beton dengan $f'c = 14,5$ MPa yang diperkuat 1 lapis dan 2 lapis CFRP mengalami kegagalan pengelupasan pada ujung CFRP yang didahului oleh pengelupasan CFRP pada tengah bentang. Pada mutu beton yang lebih tinggi dengan $f'c = 21,7$ dan $f'c = 31,2$ MPa urutan mekanisme kegagalannya berbeda yang dimulai dari tengah bentang. Hampir semua tipe balok menunjukkan mekanisme kegagalan yang sama yaitu terjadi pengelupasan pada ujung CFRP yang didahului oleh kegagalan perekat (epoxy).

Triana, Yohanes dkk (2015) dalam jurnalnya yang berjudul “Pengaruh Kuat Tekan Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang” menyatakan :

(1) Kuat lentur pada serat tekan (tegangan desak balok) semakin meningkat apabila kuat tekan beton ($f'c$) ditingkatkan, hubungan kuat tegangan desak dan kuat tekan bersifat parabola.

(2) Dari variasi kuat tekan rata rata sebesar 19.84 MPa, 25.91 MPa, 36.02 MPa, dan 42.32 MPa didapat kuat tegangan desak beton adalah 12.66 MPa, 15.34 MPa, 19.18 MPa, dan 24.26 MPa. Sedang kuat lentur rata-rata pada serat tarik (tegangan lentur baja) adalah 348.76 MPa, 399.02MPa, 464.69 MPa, dan 567.33 MPa.

Berdasarkan Penelitian yang dilakukan oleh Almassri dan Halahla (2020), yang berjudul “*Corroded RC beam repaired in flexure using NSM CFRP rod and an external steel plate*” menyatakan bahwa :

(1) Teknik perbaikan pemasangan di permukaan balok memiliki beberapa keterbatasan dalam memperbaiki balok beton bertulang yang terkorosi.

Keterbatasan ini dapat dipecahkan teknik ini dapat ditingkatkan dengan inovasi hybrid yang menggunakan plat baja eksternal.

(2) Balok beton bertulang yang terkorosi diperbaiki menggunakan batang CFRP dan plat baja eksternal menunjukkan peningkatan dalam hal kapasitas momen dan kapasitas beban maksimum.

(3) Menggunakan plat baja eksternal sebagai teknik perbaikan asisten untuk balok beton bertulang yang terkorosi mengubah kondisi runtuh dari getas menjadi daktail. Selain itu juga sedikit meningkatkan kekakuan dan mengurangi daktilitas.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Beton dan Beton Bertulang

Beton adalah suatu material yang terdiri dari campuran semen, air, agregat (kasar dan halus) dan bahan tambahan bila diperlukan. Beton yang banyak dipakai pada saat ini yaitu beton normal. Berdasarkan SNI 03-2834-2000 beton normal memiliki berat 2200-2500 kg/m³ dengan menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah.

Beton merupakan bahan bangunan yang berasal dari campuran antara Portland cement, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil) dan air. Campuran bahan-bahan pembentuk beton harus ditetapkan sedemikian rupa, sehingga menghasilkan beton basah yang mudah dikerjakan, memenuhi kekuatan rencana setelah mengeras dan cukup ekonomis (Tjokrodimulyo, 1992). Secara proporsi komposisi unsur pembentuk beton adalah: Agregat Kasar + Agregat Halus (60%-80%), Portland Cement (7%-15%), Air (14% -21%) dan Udara (1%-8%). Mutu beton ditentukan oleh banyak faktor antara lain (Tjokrodimulyo, 1992):

- a. Faktor Air Semen (FAS).
- b. Perbandingan bahan-bahannya.
- c. Mutu bahan-bahannya.
- d. Susunan butiran agregat yang dipakai.
- e. Ukuran maksimum agregat yang dipakai
- f. Bentuk butiran agregat.
- g. Kondisi pada saat mengerjakan.

h. Kondisi pada saat pengerasan.

Beton bertulang adalah gabungan material antara beton dan tulangan baja yang membentuk struktur komposit. Material beton mempunyai sifat keruntuhan getas, yaitu dapat runtuh secara tiba-tiba jika beban yang bekerja melebihi kekuatan material, sebaliknya material baja memiliki sifat keruntuhan duktail yaitu keruntuhan tidak terjadi tiba-tiba tetapi akan meluluh terlebih dahulu jika beban yang bekerja melebihi kekuatan material. Beton bertulang mampu menahan gaya tarik dan tekan dengan kuat dikarenakan bahan penyusunnya. Material beton bertugas untuk menahan gaya tekan sedangkan gaya tarik yang bekerja akan ditahan oleh material baja tulangan (Dipohusodo, 1993).

2.2.2. Bahan Penyusun Beton

2.2.2.1 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun hasil buatan.

1. Agregat halus (Pasir)

Pasir adalah agregat halus bahan beton, agregat halus adalah butiran halus yang memiliki kehalusan 2 mm - 5 mm menurut SNI 03-6820-2002. Agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4.75 mm, agregat halus merupakan agregat yang besarnya tidak lebih dari 5 mm, dan juga pasir dapat berupa pasir alam atau berupa pasir dari pemecahan batu yang dihasilkan oleh pemecah batu. Sebagai bahan adukan. baik untuk spesi maupun beton, maka agregat halus harus diperiksa terlebih dahulu. Persyaratan agregat halus secara umum menurut SNI 03-6820-2002 adalah sebagai berikut.

- 1) Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
- 2) Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Sifat kekal agregat halus dapat diuji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat maksimum bagian yang hancur adalah 10% berat.

- 3) Sedangkan jika dipakai magnesium sulfat agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), jika kadar lumpur melampaui 5% maka pasir harus dicuci.

2. Agregat kasar (Kerikil)

Agregat kasar yang digunakan untuk campuran beton menggunakan agregat yang mempunyai ukuran diatas 4,75 mm dan maksimal 40 mm. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil/split sebagai hasil dari batu pecah yang diperoleh dari pemecahan manual/mesin.

2.2.2.2 Air

Dalam adukan untuk beton, fungsi air adalah untuk memicu proses kimiawi semen sebagai bahan perekat dan melunasi agregat agar mudah dikerjakan. Kualitas air yang digunakan untuk mencampur beton sangat berpengaruh terhadap kualitas beton itu sendiri. Air yang mengandung zat - zat kimia berbahaya, mengandung garam, minyak. dan bahan lain yang akan mempengaruhi kekuatan beton. Pada umumnya air yang dapat diminum dapat digunakan sebagai campuran beton. Semen dapat berfungsi sebagai perekat apabila ada reaksi dengan air. Oleh karena itu jumlah air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi semen harus cukup.

2.2.2.3 Sement Portland

Semen berfungsi untuk mengikat sekaligus mengisi ruang kosong yang terdapat pada agregat halus dan kasar agar menyatu menjadi elemen struktur. Semen yang biasanya digunakan untuk konstruksi beton yaitu semen *portland*.

Berdasarkan SNI 15-2049-2004 semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain

2.2.2.4 Baja Tulangan

1) Ukuran dan Jenis Tulangan Baja

Baja tulangan digunakan dalam beton bertulang. Baja tulangan dan beton disatukan dan direncanakan berdasarkan anggapan bahwa kedua bahan ini memikul gaya yang terjadi pada sebuah struktur. Baja tulangan memiliki kekuatan untuk menahan tarik yang tinggi namun lemah terhadap tekan, sehingga tulangan baja cocok dipadukan dengan beton yang memiliki karakteristik kuat terhadap gaya tekan namun lemah terhadap tarik. Ada 2 jenis baja tulangan yang ada di pasaran, yaitu tulangan polos (*plain reinforcement*) dan tulangan ulir (*deformed reinforcement*) :

a. Tulangan Polos

Baja tulangan polos tersedia dalam beberapa macam diameter tetapi SNI hanya memperkenankan pemakaiannya untuk sengkang dan tulangan spiral, pemakaiannya terbatas. Saat ini tulangan polos yang mudah dijumpai adalah diameter 6 mm hingga diameter 16 mm, dengan panjang yang ada di pasaran 12 meter.

Tabel 2. 1 Dimensi Efektif Tulangan Polos

| Diameter (mm) | Berat (kg/m) | Keliling (cm) | Luas penampang (cm ²) |
|---------------|--------------|---------------|-----------------------------------|
| 6 | 0,222 | 1,88 | 0,283 |
| 8 | 0,395 | 2,51 | 0,503 |
| 10 | 0,617 | 3,14 | 0,785 |
| 12 | 0,888 | 3,77 | 1,13 |
| 16 | 1,58 | 5,02 | 2,01 |

Sumber : (SNI 2052:2017)

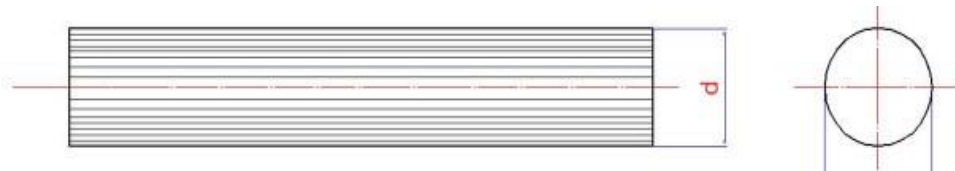
b. Tulangan Ulir

Simbol D untuk menyatakan diameter dari tulangan ulir. Sebagai contoh, D-10 dan D-19 menunjukkan tulangan ulir berdiameter 10 mm dan 19 mm. Di pasaran, tulangan ini tersedia mulai dari diameter 10 hingga 32 mm, meskipun ada juga yang lebih besar, tetapi biasanya diperoleh melalui pesanan khusus.

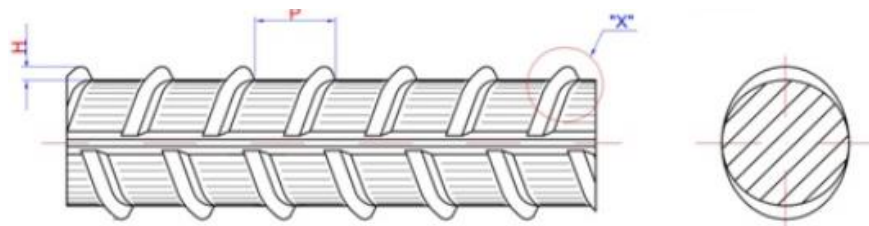
Tabel 2. 2 Dimensi Efektif Tulangan Ulir

| Diameter (mm) | Berat (kg/m) | Keliling (cm) | Luas Penampang (cm²) |
|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--|
| 10 | 0,67 | 3,14 | 0,785 |
| 13 | 1,04 | 4,08 | 1,33 |
| 16 | 1,58 | 5,02 | 2,01 |
| 19 | 2,23 | 5,96 | 2,84 |
| 22 | 2,98 | 6,91 | 3,80 |
| 25 | 3,85 | 7,85 | 4,91 |
| 32 | 6,31 | 10,05 | 8,04 |
| 36 | 7,99 | 11,30 | 10,20 |
| 40 | 9,87 | 12,56 | 12,60 |

Sumber : (SNI 2052 : 2017)

**Gambar 2. 1** Baja Tulangan Polos

Sumber : (SNI 2052 : 2017)

**Gambar 2. 2** Baja Tulangan Ulir

Sumber : (SNI 2052 : 2017)

2) Tegangan Tarik Baja (f_y)

Menurut SNI 2052-2017 tulangan adalah baja karbon atau baja paduan yang berbentuk batang berpenampang bundar dengan permukaan polos atau sirip/ulir dan digunakan untuk penulangan beton. Baja ini diproduksi dari bahan baku billet dengan cara canai panas (*hot rolling*). Baja Tulangan yang tersedia di pasaran ada 2 jenis, yaitu :

- a. Baja Tulangan Polos (BJTP)
- b. Baja Tulangan Ulir

Tulangan Polos biasanya digunakan untuk tulangan geser/begel/senggang, dan mempunyai tegangan leleh (f_y) minimal sebesar 240 MPa. dengan ukuran $\emptyset 6$, $\emptyset 8$, $\emptyset 10$, $\emptyset 12$, $\emptyset 14$ dan $\emptyset 16$ (dengan \emptyset menyatakan simbol diameter polos). Tulangan Ulir digunakan untuk tulangan longitudinal atau tulangan memanjang, dan mempunyai tegangan leleh (f_y) minimal 300 MPa. Ukuran diameter nominal tulangan ulir yang umumnya tersedia di pasaran dapat dilihat sebagai berikut :

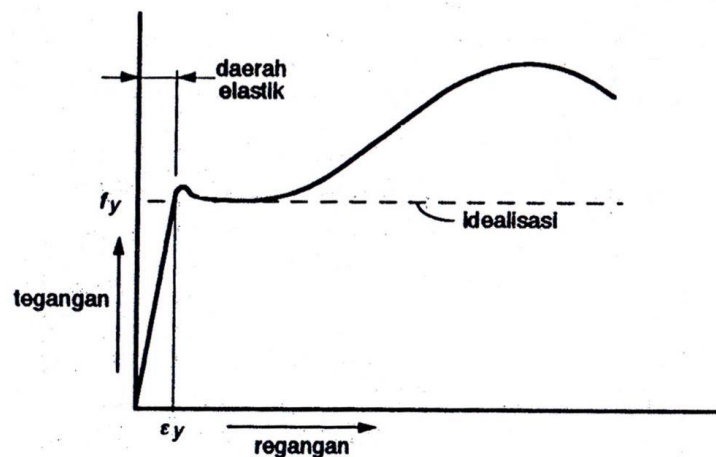
Tabel 2. 3 Diameter Tulangan dan Berat

| Diameter Tulangan | Berat per m (kg) |
|-------------------|------------------|
| D10 | 0,617 |
| D13 | 1,042 |
| D16 | 1,578 |
| D19 | 2,226 |
| D22 | 2,984 |
| D25 | 3,853 |
| D29 | 5,185 |
| D32 | 6,313 |
| D36 | 7,990 |

Sumber : (SNI 2052 : 2017)

Meskipun baja tulangan mempunyai sifat tahan terhadap beban tekan, tetapi karena harganya yang mahal maka baja tulangan ini hanya diutamakan untuk menahan beban tarik pada struktur beton bertulang, sedangkan beban tekan yang bekerja cukup ditahan oleh betonnya.

Sifat fisik batang tulangan baja yang paling penting untuk digunakan dalam perhitungan perencanaan beton bertulang adalah tegangan leleh (f_y) dan modulus elastisitas (E_s). Suatu diagram hubungan regangan tegangan tipikal untuk batang tulangan baja dapat dilihat pada **Gambar 2.3.** berikut



Gambar 2. 3 Kurva Tegangan-Regangan Batang Tulangan Baja

Sumber : (Dipohusodo, 1993).

Tegangan leleh (f_y) adalah tegangan baja pada saat dimana meningkatnya tegangan tidak disertai lagi dengan peningkatan regangannya. Modulus elastisitas baja (E_s) adalah 200.000 MPa, sedangkan modulus elastisitas untuk beton prategang harus dibuktikan melalui pengujian.

2.2.3. Kuat Beton Terhadap Gaya Tekan dan Tarik

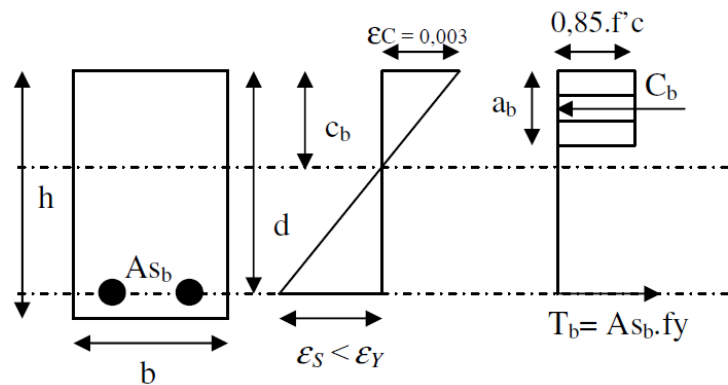
Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air dan berbagai jenis campuran (Wibisono, Susastrawan, & Muntaf, 2017). Kuat tekan beton (f'_c) didefinisikan sebagai kuat tekan beton yang dilampaui oleh paling sedikit 95 % dari benda uji. Pengujian standarnya didasarkan atas kuat tekan beton umur 28 hari (Okky Hendra Hermawan, 2018).

Selain memiliki kuat tekan beton juga memiliki kuat tarik yang cukup kecil sehingga tidak diperhitungkan dalam proses analisis. Menurut Dipohusodo (1993) perkiraan nilai kuat tarik beton normal hanya berkisar antara 5% dari kuat tekannya. Adapun nilai pendekatan yang didapat dari percobaan berkali-kali

menghasilkan nilai 0,50-0,60 kali $\sqrt{f'C}$, sehingga untuk normal digunakan nilai $0,57 \sqrt{f'C}$.

2.2.4 Balok Bertulangan Kuat (*Over-Reinforced*)

Dalam kondisi penampang terpasang luasan baja tulangan melebihi batas luasan tulangan maksimum (0,75 kali luasan tulangan dalam kondisi seimbang), akan berakibat beton mencapai regangan maksimum (0,003) lebih dahulu sementara baja tulangan belum mencapai tegangan leleh ($f_s < f_y$), sehingga dengan analisis geometri pada diagram regangan dapat diperoleh:



Gambar 2. 4 Diagram Regangan-Tegangan Beton *Over Reinforced*

$$\frac{\epsilon_s}{0,003} = \frac{d-c}{c} \quad \therefore \quad \epsilon_s = 0,003 \cdot \frac{d-c}{c} \quad (2-1)$$

sehingga tegangan pada baja tulangan tarik dapat dihitung :

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s = 0,003 \cdot \frac{d-c}{c} E_s \quad (2-2)$$

dengan melakukan substitusi nilai $a = \beta_1 \cdot c$, maka :

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s = 0,003 \cdot \frac{\beta_1 \cdot d - a}{a} E_s \quad (2-3)$$

Dengan menerapkan prinsip keseimbangan horizontal maka $C = T$:

$$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_s = 0,003 \cdot \frac{\beta_1 \cdot d - a}{a} E_s \cdot A_s$$

dimana $A_s = \rho \cdot B \cdot d$ sehingga :

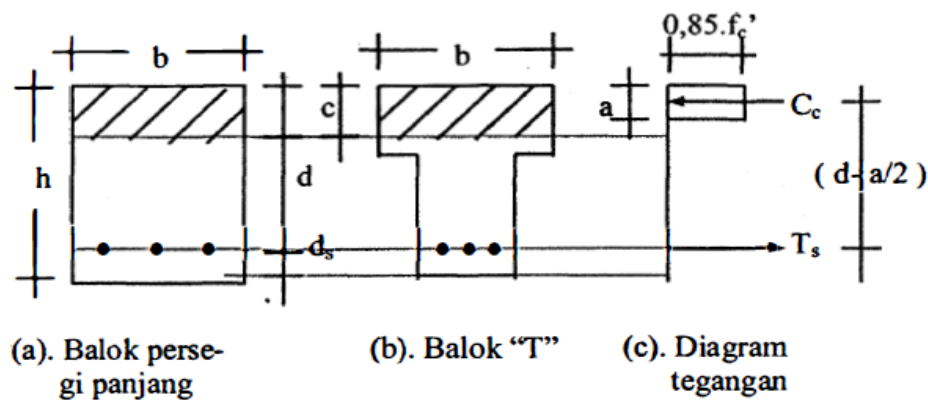
$$\left(\frac{0,85 f'c}{0,003 E_s \rho} \right) a^2 + a \cdot d - \beta_1 \cdot d^2 = 0 \quad (2-4)$$

yang dapat diselesaikan dengan formula akar kuadrat *abc*, sehingga mendapatkan nilai **a** yaitu tinggi blok tekan.

2.2.5 Pengertian Umum Balok T

Pada pelaksanaan di lapangan, pengecoran balok dan plat biasanya dilaksanakan bersamaan, sehingga menghasilkan pengecoran yang monolit. Dengan kondisi ini, plat beton akan berfungsi sebagai sayap dari balok "T".

Pada hitungan struktur beton bertulang, dianggap bahwa beton merupakan bahan yang getas, artinya, meskipun beton sangat kuat untuk menahan beban tekan, tetapi tidak kuat menahan beban tarik, sehingga mudah retak/patah. Jadi beban tarik yang bekerja pada struktur beton bertulang, dilimpahkan/ditahan oleh baja tulangan saja, sedangkan luas penampang pada daerah beton tarik tidak dapat dimanfaatkan untuk mendukung beban. Oleh karena itu, luas penampang beton tarik yang tidak dapat dimanfaatkan ini secara teoritis dapat dikurangi/dipangkas sedemikian rupa sehingga bentuk balok beton seperti huruf "T", dan disebut balok "T". Meskipun penampang beton dipangkas pada bagian bawah, kekuatan balok "T" ini secara teoritis masih tetap sama dengan kekuatan balok persegi panjang, seperti terlihat pada **Gambar 2.5**, asalkan tinggi garis netral (c) kedua balok bernilai sama (Ali Asroni, 2010).



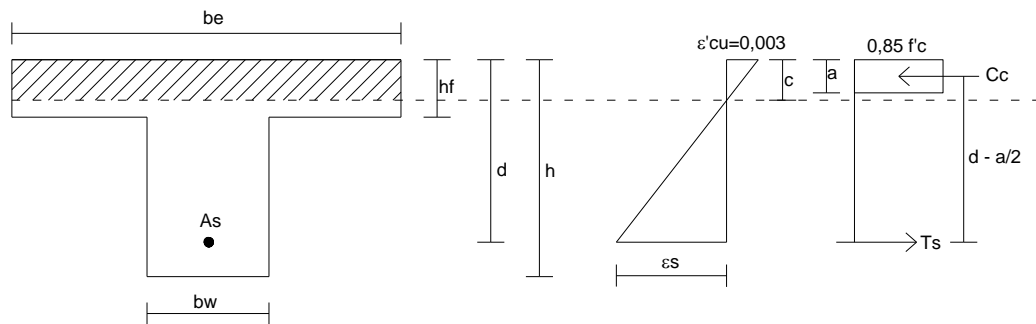
Gambar 2.5 Balok Persegi, Balok "T" dan Diagram Tegangan Balok

(Sumber : Ali Asroni, 2010)

2.2.6 Analisis Balok T

(Widodo, 2008) Dalam analisis Balok T terdapat dua jenis kemungkinan yang biasa dijumpai yaitu:

1. Garis netral (c) terletak diatas flens (hf) “Balok T palsu”



Gambar 2. 6 Garis Netral Terletak diatas *Flens* ($c < hf$)

(Sumber : Widodo, 2008)

Agar kondisi seperti gambar 2.6, maka luas tulangan tarik A_s harus memenuhi

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b}{f_y} \quad (2-5)$$

Dalam kondisi ini dijumpai kesimbangan gaya-gaya dalam:

$$C = T \quad (2-6)$$

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \quad (2-7)$$

$$T = A_s \cdot f_y \quad (2-8)$$

Sehingga diperoleh nilai a

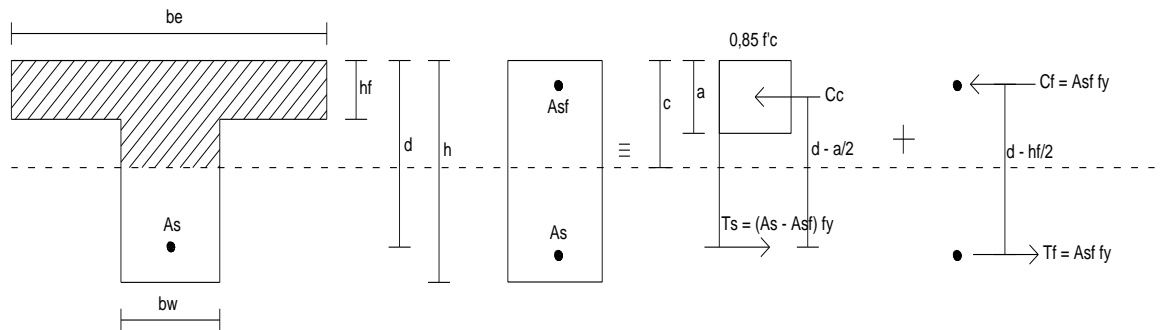
$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \quad (2-9)$$

Sedangkan kekuatan lentur nominal dapat dihitung dengan :

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) \quad (2-10)$$

Jika diperhatikan dengan seksama persamaan diatas adalah persamaan yang sama dalam analisis balok persegi

2. Garis netral (c) terletak dibawah flens (hf) “Balok T murni”



Gambar 2. 7 Garis Netral (c) Jatuh di bawah *Flens* ($c > h_f$)

(Sumber : Widodo, 2008)

Dalam kondisi ini dapat diberlakukan serupa dengan balok persegi bertulangan rangkap, dengan menggantikan bagian plat dari “flens” menjadi suatu penulangan imajiner yang luasnya:

$$A_{sf} = \frac{0,85.f_c'.(b-b_w).h_f}{f_y} \quad (2-11)$$

Untuk balok yang dipandang sebagai balok T “murni”, gaya tarik sebesar $A_s f_y$ dari tulangan harus lebih besar daripada kapasitas gaya luas flens total sebesar $0,85.f'c.b.h_f$ sehingga:

$$a = \frac{A_s.f_y}{0,85 f'c . b} > h_f \quad (2-12)$$

atau

$$a = 1,18 . \omega . d > h_f \quad (2-13)$$

dimana $\omega = \frac{A_s}{b.d} \cdot \frac{f_y}{f'c}$, dan jika digunakan blok tegangan parabola maka persamaan

(2-9) dapat ditulis :

$$c = \frac{1,18 . \omega . d}{\beta_1} > h_f \quad (2-14)$$

Untuk menjamin perilaku daktail maka diberikan batasan penulangan :

$$\rho < 0,75 \rho_b \quad (2-15)$$

dimana :

$$\rho_b = \frac{b_w}{b} [\overline{\rho_b} - \rho_f] \quad (2-16)$$

$$\overline{\rho_b} = \frac{0,85 f_c}{f_y} . \beta_1 . \frac{600}{600+f_y} \quad (2-17)$$

$$\rho_f = 0,85f_c \cdot (b - b_w) \cdot \frac{h_f}{f_y \cdot b_w \cdot d} \quad (2-18)$$

Sedangkan untuk persyaratan tulangan minimum:

$$\rho_w = \frac{A_s}{b_w \cdot d} \geq \frac{1,4}{f_y} \quad (2-19)$$

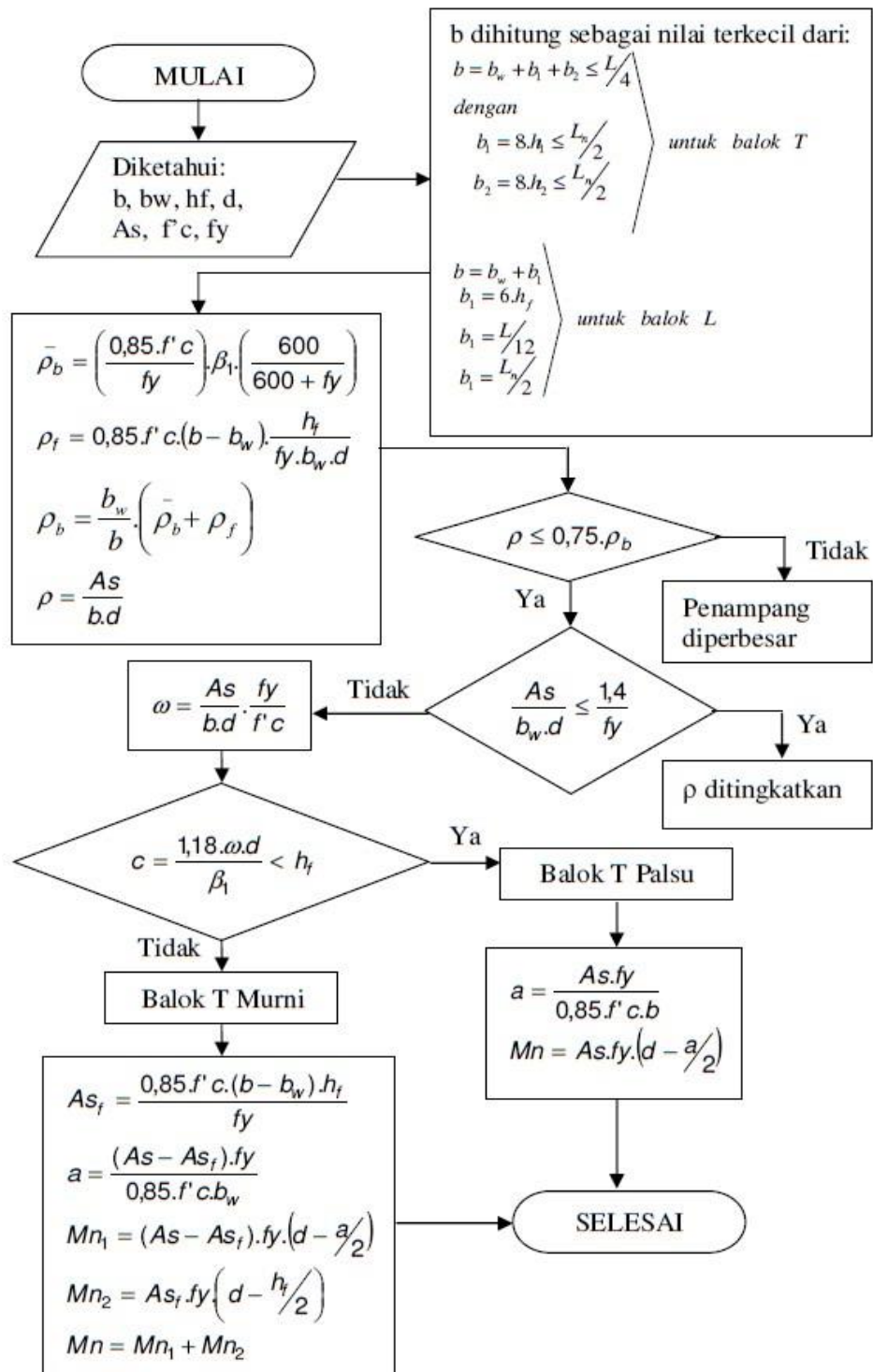
Sama seperti balok bertulangan rangkap, tulangan tarik dibagi menjadi dua bagian A_{s1} yang mengimbangi gaya tekan beton seluas $b_w \cdot a$ dan A_{s2} untuk mengimbangi luas tulangan imajiner A_{sf} , sehingga momen nominal dapat dihitung :

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (2-22)$$

$$M_{n1} = A_{s1} \cdot f_y \cdot (d - a/2) = (A_s - A_{sf}) f_y \cdot (d - a/2) \quad (2-20)$$

$$M_{n2} = A_{s2} \cdot f_y \cdot (d - h_f/2) = A_{sf} \cdot f_y \cdot (d - h_f/2) \quad (2-21)$$

Prosedur analisis Balok T selengkapnya disajikan dalam **Gambar 2.7**



Gambar 2. 8 Diagram Alur Analisis Balok T

(Sumber : Widodo, 2008)

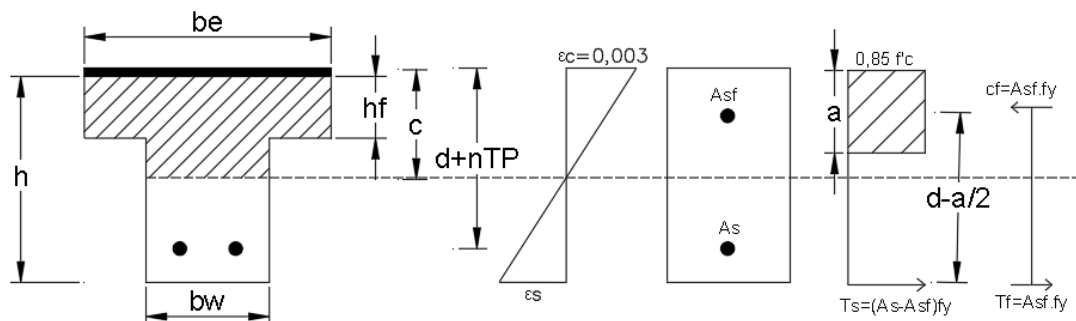
2.2.7 Perkuatan Pada Balok Beton

Perkuatan struktur dilakukan sebagai upaya pencegahan sebelum struktur mengalami kehancuran. Sedangkan perbaikan struktur dilakukan pada bangunan yang telah rusak supaya mengembalikan fungsi struktur seperti semula. Jika bangunan tidak segera ditangani perbaikan atau perkuatannya, kerusakan dapat menjadi lebih parah. Agar bangunan yang sudah rusak dapat terus difungsikan, diperlukan tindakan rehabilitasi yang dapat berupa perbaikan (retrofit) atau perkuatan.

Metode perkuatan yang umumnya dilakukan adalah :

1. Memperpendek bentang (L) dari Struktur dengan konstruksi beton maupun baja
2. Memperbesar dimensi lebar balok (b) dan tinggi balok (h) pada konstruksi beton
3. Menambah dimensi beton/menambah plat baja

2.2.8 Formula Perkuatan Pada Balok T



Gambar 2. 9 Diagram Tegangan Regangan Balok T Perkuatan

Perhitungan tinggi efektif setelah penambahan plat menggunakan metode lentur yang memperhitungkan variabel n dimana n adalah rasio antara modulus elastisitas baja dengan modulus elastisitas beton, sehingga mutu beton dan mutu baja sangat mempengaruhi nilai n .

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (2-22)$$

$$nTP = \text{Tebal plat} \times n \quad (2-23)$$

dimana :

n = rasio modulus elastisitas baja dengan modulus elastisitas beton

TP = Tebal Plat Perkuatan (mm)

nTP = Tinggi plat yang dianggap sebagai material komposit balok beton setelah perhitungan diatas maka dapat dihitung tinggi efektif yang baru dengan persamaan :

$$d = d + nTP \quad (2-24)$$

Tinggi efektif baru (d) bisa digunakan sebagai variabel dalam menganalisis balok T dengan perkuatan baja. Langkah analisis bisa dilakukan sesuai dengan perhitungan balok T dengan garis netral (c) berada dibawah flens, dalam kondisi ini dapat diberlakukan serupa dengan balok persegi bertulangan rangkap, dengan menggantikan bagian plat dari “flens” menjadi suatu penulangan imajiner yang luasnya:

$$Asf = \frac{0,85.f'c.(b-bw).hf}{fy} \quad (2-11)$$

Untuk balok yang dipandang sebagai balok T “murni”, gaya tarik sebesar $As.fy$ dari tulangan harus lebih besar daripada kapasitas gaya luas flens total sebesar $0,85.f'c.b.hf$ sehingga:

$$a = \frac{As.fy}{0,85 f'c . b} > hf \quad (2-12)$$

atau

$$a = 1,18 . \omega . d > hf \quad (2-13)$$

dimana $\omega = \frac{As}{b.d} . \frac{fy}{f'c}$, dan jika digunakan blok tegangan parabola maka persamaan

(2-9) dapat ditulis :

$$c = \frac{1,18 . \omega . d}{\beta 1} > hf \quad (2-14)$$

Untuk menjamin perilaku daktail maka diberikan batasan penulangan :

$$\rho < 0,75 \rho b \quad (2-15)$$

dimana :

$$\rho b = \frac{bw}{b} [\overline{\rho b} - \rho f] \quad (2-16)$$

$$\overline{\rho b} = \frac{0,85 f'c}{fy} . \beta 1 . \frac{600}{600+fy} \quad (2-17)$$

$$\rho f = 0,85f'c . (b - bw) . \frac{hf}{fy.bw.d} \quad (2-18)$$

Sedangkan untuk persyaratan tulangan minimum:

$$\rho_w = \frac{A_s}{b_w \cdot d} \geq \frac{1,4}{f_y} \quad (2-19)$$

Sama seperti balok bertulangan rangkap, tulangan tarik dibagi menjadi dua bagian A_{s1} yang mengimbangi gaya tekan beton seluas $b_w \cdot a$ dan A_{s2} untuk mengimbangi luas tulangan imajiner A_{sf} , sehingga momen nominal dapat dihitung :

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (2-22)$$

$$M_{n1} = A_{s1} \cdot f_y \cdot (d - a/2) = (A_s - A_{sf}) f_y \cdot (d - a/2) \quad (2-20)$$

$$M_{n2} = A_{s2} \cdot f_y \cdot (d - h_f/2) = A_{sf} \cdot f_y \cdot (d - h_f/2) \quad (2-21)$$

2.2.9 Karakteristik Plat Baja

Plat baja bertugas sebagai material penguat untuk balok T. Plat baja yang digunakan pada penelitian ini adalah lembaran plat baja dengan tebal 2,0 mm yang dipotong dengan ukuran lebar 30 cm. Kuat tarik plat baja setelah diuji adalah 349 MPa.

2.2.10 Karakteristik Epoxy (Sikadur-31 CF Normal)

Dalam perkuatan balok beton bertulang dengan plat baja, diperlukan suatu perekat kimia untuk memastikan plat baja dapat terpasang dengan sempurna dan tidak mengelupas. Zat perekat ini terdiri dari dua macam bahan yaitu resin dan *hardener*, yang harus dicampur sebelum digunakan untuk merekatkan plat baja ke balok.

Sifat dari perekat ini yaitu dapat mengeras dengan waktu yang singkat. Oleh karena itu dalam pemasangannya memerlukan ketelitian dan metode kerja yang cepat dan akurat. Dalam penelitian ini perekat yang digunakan adalah epoxy adhesive jenis Sikadur-31 CF Normal yang terdiri dari dua komponen, yaitu komponen A yang berwarna putih dan komponen B yang berwarna abu-abu tua. Perbandingan antara campuran komponen A: komponen B adalah 2: 1 dan warna setelah tercampur adalah abu-abu terang.

Spesifikasi data teknis epoxy yang dipakai dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2. 4 Karakteristik Epoxy

| Properties | Epoxy |
|-----------------------|------------|
| Modulus-E | 12.800 MPa |
| Kuat Lekat Pada Beton | >4 Mpa |

Sumber : Sika Technical Data Sheet

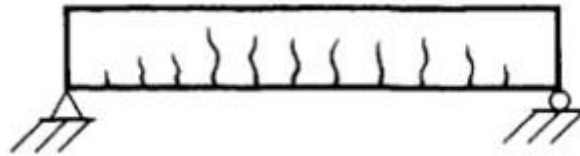
2.2.11 Pola Keruntuhan Pada Balok

- a. Tulangan kuat (*Overreinforced*) keruntuhan tipe ini terjadi akibat tulangan terlalu banyak, sehingga beton tertekan hancur terlebih dahulu (beton mencapai kekuatan batasnya terlebih dahulu). Keruntuhan ini terjadi secara tiba-tiba.
- b. Tulangan lemah (*Under Reinforced*) pada kasus ini tulangan mencapai tegangan lelehnya (f_y) terlebih dahulu, setelah itu baru beton mencapai regangan batasnya, dan selanjutnya struktur runtuh. Pada kasus ini terlihat ada tanda-tanda berupa defleksi dan retakan yang besar sebelum terjadi keruntuhan.
- c. Kondisi Seimbang (*Balanced*). Dalam kondisi ini saat struktur sudah mencapai beban maksimal, beton sudah mencapai regangan maksimum dan peristiwa ini terjadi secara bersamaan dengan tulangan tarik yang mencapai batas lelehnya (f_y). Keruntuhan yang terjadi pada kondisi bersifat getas.

2.2.12 Pola Retak Pada Balok

Retak yang terjadi pada balok beton bertulang bisa dibedakan menjadi beberapa, yaitu :

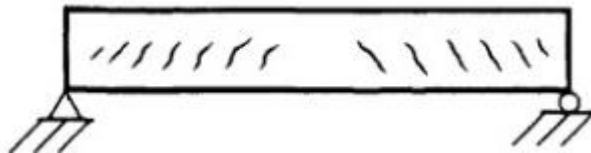
1. Retak lentur murni (flexural crack), retak yang terjadi di daerah yang mempunyai momen lentur besar. Arah retak hampir tegak lurus sumbu balok, retak pada tengah bentang balok lebih besar karena momen lentur yang lebih besar.



Gambar 2. 10 Retak Lentur

Sumber : (Layang, 2022)

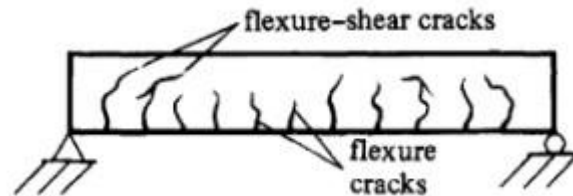
2. Retak geser murni (shear crack), retak yang terjadi pada daerah dimana gaya geser maksimum bekerja dan tegangan normal sangat kecil.



Gambar 2. 11 Retak Geser

Sumber : (Layang, 2022)

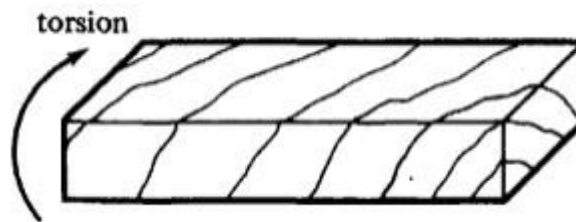
3. Retak geser lentur (flexural shear crack), retak yang terjadi pada bagian balok yang sebelumnya telah terjadi keretakan lentur. Jadi retak geser lentur merupakan perambatan retak miring dari retak yang sudah terjadi sebelumnya.



Gambar 2. 12 Retak Geser Lentur

Sumber : (Layang, 2022)

4. Retak torsi, retak yang melingkari sekeliling balok beton bertulang.



Gambar 2. 13 Retak Torsi

Sumber : (Layang, 2022)

BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode studi eksperimental dimana untuk memperoleh data-data dan hasil penelitian dengan melakukan pengujian di laboratorium. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara balok T mutu rendah dalam kondisi *Over Reinforced* dengan balok beton T mutu rendah yang diperkuat plat baja pada bagian desak.

3.1. Tepat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Adapun waktu penelitian ini akan dilaksanakan pada 6 Juni 2022 – 2 Agustus 2022.

3.2. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan metode eksperimen terhadap beberapa benda uji dari berbagai kondisi perlakuan yang diuji di laboratorium. Untuk beberapa hal pada pengujian bahan, digunakan data sekunder yang sudah ada.

3.3. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan peralatan yang ada di Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, diantaranya yaitu :

1. Timbangan. Digunakan sebagai alat ukur berat semen, agregat (halus dan kasar) serta untuk mengukur berat benda uji yang telah dibuat
2. Saringan. Berfungsi untuk menyaring agregat halus dan kasar guna uji pemeriksaan agregat untuk mengetahui ukuran butir dan gradasi dari agregat
3. Mesin pengguncang saringan. Digunakan untuk mengguncang saringan
4. Oven. Berfungsi untuk mengkondisikan kadar air pada agregat halus dan kasar

5. Dunagan Test Set. Untuk menganalisa berat jenis agregat dan kemampuan agregat kasar dalam menyerap air.
6. Los Angeles Abrasion Machine. Digunakan untuk mengetahui keausan agregat
7. Mesin Bor. Digunakan untuk melubangi Plat Baja dan Beton dalam pengaplikasian dynabolt
8. Mesin Uji Kuat Tekan Beton. Untuk mengetahui nilai kuat tekan benda uji beton yang dibuat.
9. Mesin Uji Tarik Baja. Digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik maksimum dan kuat leleh baja tulangan. Dalam penelitian ini digunakan *Universal Testing Machine* (UTM).
10. Molen Mixer. Digunakan sebagai alat pencampur adukan beton
11. Kerucut Abrams. digunakan untuk pengujian slump pada beton segar
12. Loading Frame. Digunakan untuk menempatkan benda uji balok pada saat pengujian pembebanan
13. Dial Gauge. Digunakan untuk mengukur besar lendutan pada benda uji balok.

Selain alat diatas, pada penelitian ini juga memerlukan beberapa jenis material dalam pembuatan benda uji. Bahan-bahan yang diperlukan diantaranya adalah :

1. Semen, Benda uji yang akan dibuat dalam penelitian ini menggunakan Portland Cement (PC) jenis I yang digunakan untuk konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus
2. Agregat Kasar. Untuk pembuatan benda uji pada penelitian ini menggunakan kerikil
3. Agregat halus. Pembuatan benda uji pada penelitian ini menggunakan pasir.
4. Baja Tulangan. Tulangan longitudinal yang akan dipakai pada penelitian ini merupakan jenis tulangan polos dengan diameter 8 mm (pada bagian desak) dan 16 mm (pada bagian lentur), sedangkan untuk tulangan geser menggunakan tulangan dengan diameter 8 mm.

5. Plat Baja. Plat baja yang digunakan pada penelitian ini adalah lembaran Plat baja yang dipotong sesuai kebutuhan. Bahan ini dipilih karena pemasangan yang Relatif mudah dan bahan yang mudah didapat.
6. Dynabolt. Untuk merekatkan plat baja dengan balok beton agar menjadi komposit, akan digunakan dynabolt dengan dimensi 10 mm dengan Panjang 100 mm.
7. Lem perekat Epoxy Sikadur 31-Cf Normal yang digunakan juga sebagai media pengikat antara balok dengan plat baja.

3.4. Benda Uji

Pada penelitian ini, digunakan benda uji beton bertulang berbentuk balok T, dengan mutu beton 10 MPa. Benda uji berjumlah 1 buah yaitu balok kontrol 1 buah, penambahan plat lebar 300 mm dengan perekat epoxy 2 buah, penambahan plat lebar 300 mm dengan baut 2 buah

Tabel 3. 1 Daftar Benda Uji

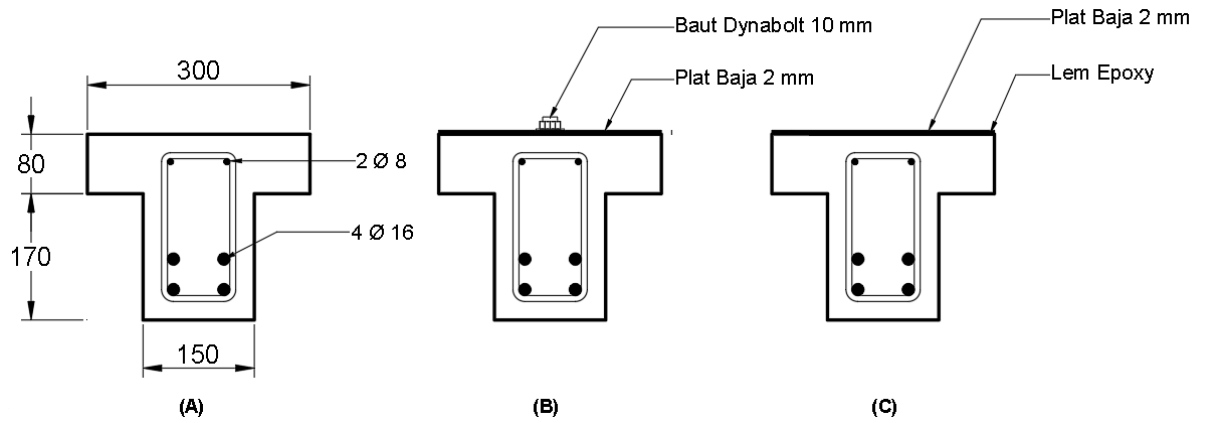
| Kode | Panjang (cm) | Lebar web (cm) | Lebar Flens (cm) | Tinggi (cm) | Dimensi Perkuatan (cm) | | Media Penghubung |
|----------|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------|---------------------|
| | | | | | Tebal | Panjang | |
| BK 1 | 200 | 15 | 30 | 150 | - | - | - |
| BP 1 (1) | 200 | 15 | 30 | 150 | 0,2 | 300 | Baut |
| BP 1 (2) | 200 | 15 | 30 | 150 | 0,2 | 300 | Baut |
| BP 2 (1) | 200 | 15 | 30 | 150 | 0,2 | 300 | Lem epoxy |
| BP 2 (2) | 200 | 15 | 30 | 150 | 0,2 | 300 | Lem epoxy |

Keterangan :

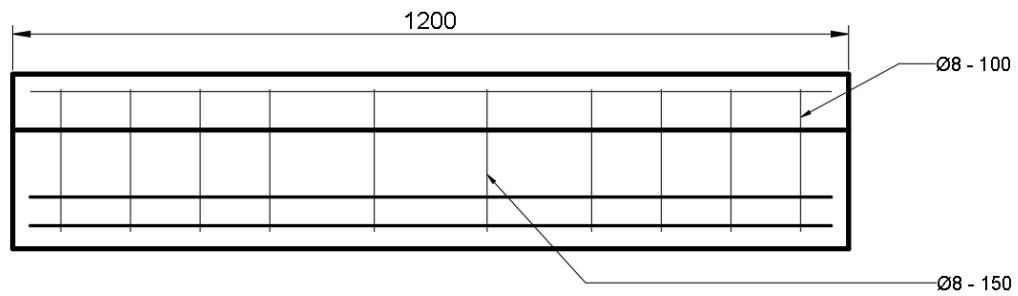
BK = Balok Kontrol

BP = Balok Kontrol dengan Pertambahan Perkuatan

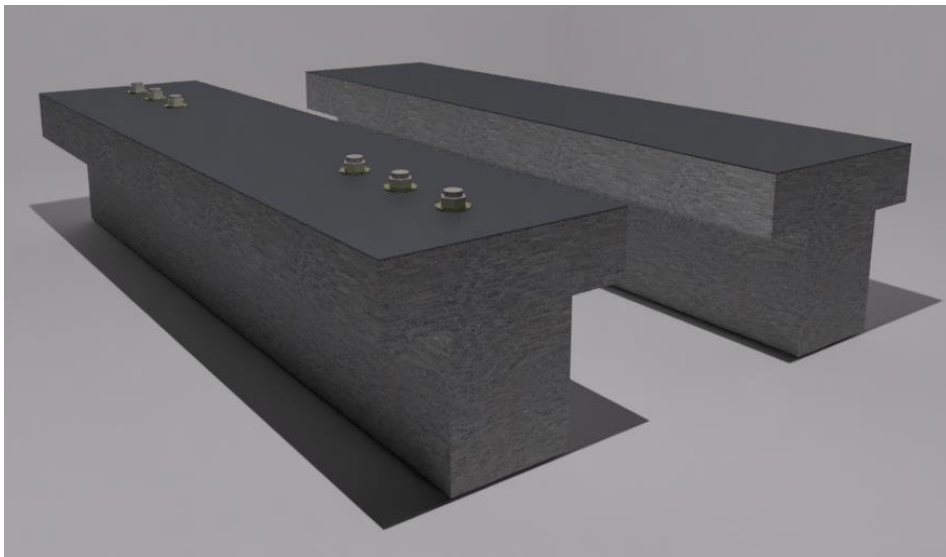
Ukuran balok beton bertulang lebar *sayap efektif* 300 mm dan tinggi *flens* 80 mm, lebar bawah 150 mm, *h* tinggi 250 mm, lebar *web* 150 mm.



Gambar 3. 1 (A) Penampang Balok Kontrol, (B) Penampang BP 1, (C) Penampang BP 2



Gambar 3. 2 Penampang Memanjang Benda Uji



Gambar 3. 3 Penampang Balok Perkuatan

3.5. Tahapan dan Prosedur Penelitian

Penelitian ini harus dilaksanakan secara sistematis dan urutan yang jelas sehingga hasil yang diperoleh bisa maksimal dan dapat dipertanggung jawabkan. Oleh karena itu penelitian ini dibagi dalam beberapa tahap :

1. Tahap I : Persiapan alat dan bahan

Pada tahap ini alat yang akan digunakan di cek terlebih dahulu apakah masih berfungsi dengan baik dan benar serta membeli semua kebutuhan bahan agar penelitian berjalan dengan lancar.

2. Tahap II : Pengujian material penyusun beton

Pada tahap ini bahan material penyusun beton yaitu agregat kasar, agregat halus, air, dan semen akan diuji terlebih dahulu supaya mengetahui sifat karakteristik bahan tersebut agar bisa merancang campuran sesuai yang diinginkan.

3. Tahap III : Penetapan *mix design* beton

Penetapan *mix design* beton ditentukan berdasarkan pengujian material pada tahap II. *Mix design* berfungsi juga untuk menentukan berapa persentase campuran yang tepat supaya mendapat spesifikasi beton yang diinginkan. Pada tahap ini dibuat sample *silinder* guna mengetahui kuat tekan dan juga pemeriksaan nilai *slump* yang sesuai.

4. Tahap IV : Pembuatan bekisting dan merangkai tulangan

Sebelum membuat benda uji pastinya bekisting dibutuhkan untuk mencetak bentuk sesuai yang diinginkan. Bekisting menggunakan triplek dengan ketebalan 10 mm. Selain itu, tulangan juga dirangkai sedemikian rupa sesuai dengan perencanaan sebelumnya.

5. Tahap V : Pembuatan benda uji

Pada tahap ini dilaksanakan pengecoran untuk membuat benda uji. Benda uji yang dibuat adalah 6 buah balok beton bertulang. Setelah membuat

benda uji selanjutnya adalah melakukan perawatan terhadap benda uji dengan cara disiram air.

6. Tahap VI : Pengujian

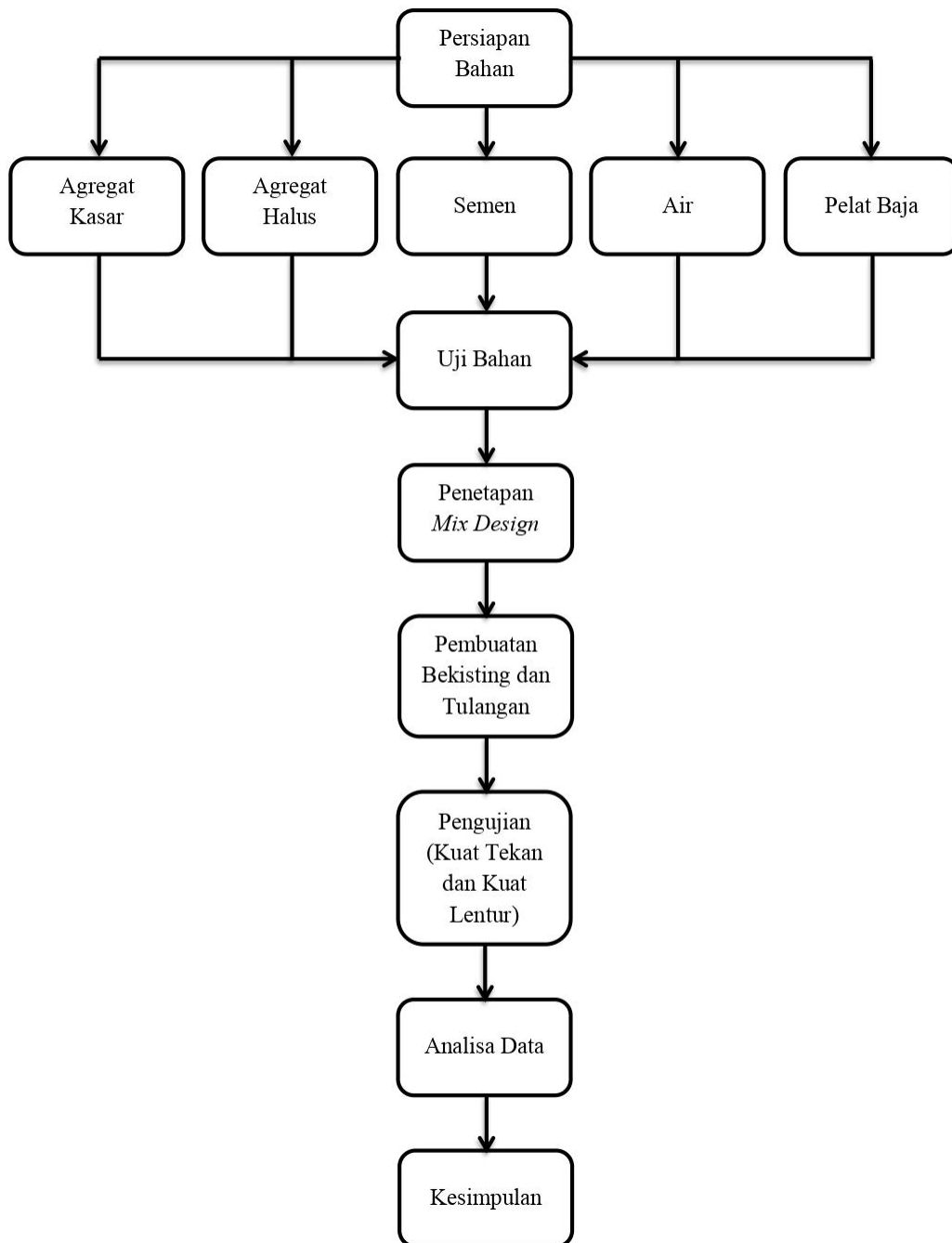
Setelah benda uji berumur 28 hari, maka dilakukan pengujian. Pengujian berupa kuat tekan untuk sampel *silinder* dan uji lentur untuk benda uji balok T. Uji lentur dilakukan terhadap sampel balok T dengan lebar *flens* 75 mm dan tinggi *flens* 80 mm, lebar bawah 150 mm, *h* tinggi 250 mm, lebar atas 300 mm untuk balok kontrol, balok yang sudah diberi plat baja dengan lebar 150 mm dan 300 mm tebal 2 mm untuk pengujian. Uji lentur dilakukan dengan cara benda uji ditempatkan pada *loading frame* yang diberi tumpuan sendi dan roll. Pembebanan dilakukan di dua titik berjarak 400 mm dari masing masing tumpuan. Sebelum dilakukan pengujian, balok dicat putih dan diberi grid dengan ukuran 50 mm x 50 mm guna mengetahui pola retak yang terjadi. Saat melakukan pengujian, di bawah balok diberi 3 buah *dial gauge* untuk membaca seberapa banyak balok melendut. *Dial gauge* diletakkan di tengah bentang balok, dan di bawah titik pembebanan. Pembebanan dilakukan menggunakan *hydraulic jack* dengan kapasitas maksimum 20 ton dan interval kenaikan beban 500 kg. Untuk uji kuat tekan menggunakan silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

7. Tahap VII : Analisa data

Pada tahap ini akan memperoleh data dari hasil penelitian yang selanjutnya akan dianalisa untuk mendapatkan suatu kesimpulan dari benda uji yang diteliti.

8. Tahap VIII : Pengambilan kesimpulan

Data yang telah didapat kemudian dianalisa, dan diambil kesimpulan untuk menjawab tujuan dari penelitian.



Gambar 3. 4 Diagram Alur Penelitian

3.6. Uji Bahan

3.6.1. Pengujian Tarik Plat Baja

Salah satu cara untuk mengetahui kekuatan dari plat baja adalah dengan melakukan uji tarik. Dengan uji tarik kita bisa mengetahui kekuatan mekanis dari plat baja, diantaranya yaitu kekuatan tarik, modulus elastisitas dari material, dan kekuatan tegangan leleh (f_y).

3.6.2. Pengujian *Slump*

Uji *Slump* berfungsi untuk mengetahui *workability* beton serta *homogenitas* (kerataan campuran) pada beton sebelum diaplikasikan pada pekerjaan pengecoran. Berdasarkan SNI 1972:2008 tata cara pengujian *slump* yaitu :

1. Siapkan kerucut Abram yang telah dibasahi, lalu letakkan pada tempat datar, lembab, dan tidak menyerap air
2. Isi kerucut dengan adukan beton sambil ditahan dengan kokok agar tidak bergerak
3. Kerucut diisi dengan 3 lapis adukan beton, setiap lapis tebalnya 1/3 dari tinggi kerucut
4. Setiap diisi satu lapis, ditusuk merata dengan batang pemadat sebanyak 25 kali
5. Setelah kerucut terisi penuh ratakan lapisan permukaan kerucut
6. Setelah diratakan, tarik kerucut dengan arah vertikal secara hati hati tanpa memutar atau menggerakkan kerucut kearah lainnya
7. Ukur penurunan adonan beton dari tinggi kerucut untuk mendapatkan nilai *slump* nya

3.6.3. Pengujian Kuat Tekan Beton

Setelah memperoleh mix desain mutu beton, kemudian sampel benda silinder beton dilakukan uji tekan sesuai dengan SNI 1974:2011 untuk mengetahui kuat tekan rata-rata pada balok beton bertulang nantinya.

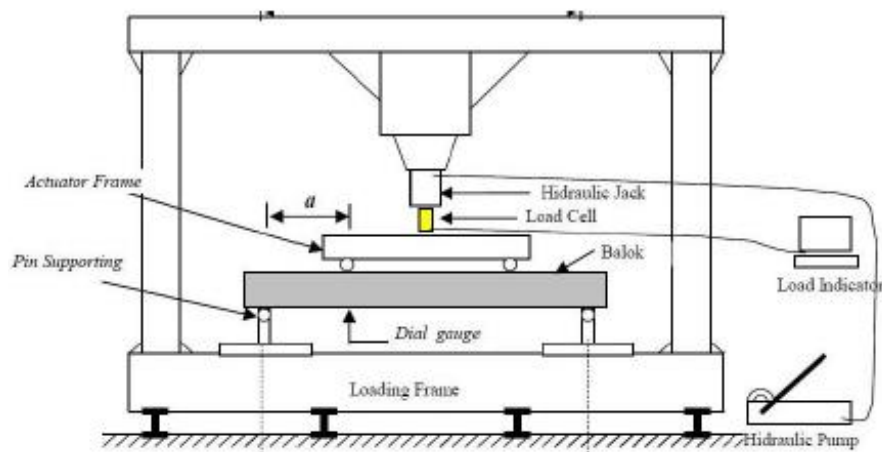
3.7. Pembuatan Benda Uji

Cara pembuatan benda uji balok bertulang dapat diuraikan dalam beberapa langkah langkah berikut :

1. Menyiapkan bahan (agregat kasar dan halus, semen, pasir, air, tulangan pokok dan sengkang, plat baja, sikadur 31 CF-Normal, Dynabolt) dan beberapa peralatan yang akan digunakan untuk membuat beton
2. Menyiapkan bekisting yang sudah diolesi oli
3. Menimbang material sesuai perencanaan *mix design* yang telah dibuat
4. Membuat adonan beton menggunakan mesin *mixer*
5. Mengukur nilai *slump* dari adonan beton tersebut
6. Jika nilai *slump* sudah memenuhi tuangkan adonan beton kedalam bekisting
7. Padatkan adonan dan jika sudah penuh ratakan permukaannya serta dibiarkan selama 24 jam
8. Setelah 24 jam lepas bekisting dari benda uji
9. Rawat benda uji dengan menyirami air
10. Sebelum diuji, gambar grid untuk membaca pola retak

3.8. Set Up Pengujian Balok

Benda uji balok ditempatkan pada *loading frame* dengan tumpuan sendi – roll pada kedua ujungnya. Pengujian dilakukan dengan cara memberi beban secara monoton dan statis dengan interval kenaikan sebesar 500 kg. Bentang bersih benda uji adalah 1200 mm, titik pembebanan berada pada jarak 400 mm dari masing-masing tumpuan. Untuk mengetahui pola retak yang akan terjadi, benda uji dicat warna putih lalu digambari garis tegak lurus dengan ukuran 50 mm. Pembebanan dilakukan dengan *hydraulic jack* dan *load cell* serta besarnya beban yang diberikan dibaca dari *load indicator*.



Gambar 3. 5 Alat Uji Lentur Balok

Sumber : (Wibisono, Susastrawan, & Muntafi, 2017)

3.9. Analisis data hasil penelitian

Analisis data merupakan suatu kegiatan yang dilakukan setelah data terkumpul, kegiatannya meliputi mengelompokkan data berdasarkan variabel, mentabulasi data yang diteliti, melakukan perhitungan untuk menjawab rumusan masalah dari penelitian, dan melakukan pengujian hipotesis yang diajukan.

Dalam penelitian ini, analisis data hasil pengujian dilakukan dengan cara :

- a. Data hasil perhitungan analitis lentur balok ditabelkan
- b. Data hasil pengujian Uji tekan Silinder dan Uji lentur balok ditabelkan.
- c. Data hasil penelitian dibuat grafik.

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Bahan Penyusun Beton

4.1.1. Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus yang dilakukan di dalam laboratorium meliputi pengujian berat jenis, bobot isi, kadar lumpur, dan uji gradasi. Hasil pengujian akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik di bawah.

a. Berat Jenis Pasir

Tabel 4. 1 Hasil Uji Berat Jenis Pasir

| No | Uraian | | Hasil | |
|------------------------------|--|------|--------------|-------|
| | | | 1 | 2 |
| 1 | No cawan | | 1 | 2 |
| 2 | Berat sampel jenuh permukaan (SSD) (A) | Gram | 367.4 | 237.6 |
| 3 | Berat sampel kering (B) | Gram | 357.3 | 231.4 |
| 4 | Berat labu ukur + air (C) | Gram | 700.8 | 699 |
| 5 | Berat labu ukur + berat (SSD) + Air (D) | Gram | 922.4 | 845.2 |
| 6 | Berat jenis (bulk) (B / (C + A) - D) | | 2.45 | 2.53 |
| 7 | Berat jenis (SSD) (A / (C + A) - D) | | 2.52 | 2.60 |
| 8 | Berat jenis semu (B/ (C + B - D) | | 2.63 | 2.72 |
| 9 | Penyerapan ((A - B)/ B) x 100% | | 2.83 | 2.68 |
| Berat jenis rata-rata | | | 2.491 | |
| | | | | |
| | Berat Cawan | Gram | 287.9 | 292.2 |
| | Berat Cawan + SSD | Gram | 655.3 | 529.8 |

Dari hasil pengujian diatas, didapat hasil 2,491 gr/cm³ , termasuk dalam agregat normal. Sehingga pasir dapat digunakan dalam campuran Balok T dengan kuat tekan 10 MPa.

b. Bobot Isi Pasir

Tabel 4. 2 Hasil Uji Bobot Isi Pasir

| BOBOT ISI LEPAS | | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------|--------|
| Nomor | Uraian | | Hasil | |
| 1 | No cawan | | 1 | 2 |
| 2 | Berat container kosong (A) | gram | 231.4 | 231.4 |
| 3 | Berat container + sampel pasir (B) | cm ³ | 1649.7 | 1671.8 |
| 4 | Berat Agregat (C) = (B) - (A) | gram | 1418.3 | 1440.4 |
| 5 | Volume container (D) | gram | 1000 | 1000 |
| 6 | Bobot isi lepas (C) / (D) | gram/cm ³ | 1.418 | 1.440 |
| Bobot isi rata - rata | | | 1.429 | |
| BOBOT ISI PADAT | | | | |
| Nomor | Uraian | | Hasil | |
| 1 | No cawan | | 1 | 2 |
| 2 | Berat container kosong (A) | gram | 231.4 | 231.4 |
| 3 | Berat container + sampel pasir (B) | cm ³ | 1855.3 | 1920.1 |
| 4 | Berat Agregat (C) = (B) - (A) | gram | 1623.9 | 1688.7 |
| 5 | Volume container (D) | gram | 1000 | 1000 |
| 6 | Bobot isi lepas (C) / (D) | gram/cm ³ | 1.624 | 1.689 |
| Bobot isi rata - rata | | | 1.656 | |

Dari hasil uji laboratorium, didapat bobot isi lepas pasir sebesar 1,429 gram/cm³ , sementara bobot isi padat sebesar 1,656 gram/cm³.

c. Kadar Lumpur Pasir

Tabel 4. 3 Hasil Uji Kadar Lumpur Pasir

| No | Uraian | | Hasil | |
|-------------------------------|---|------|-------------|--------|
| | | | 1 | 2 |
| 1 | No cawan | | | |
| 2 | Berat kering sebelum dicuci (A) | gram | 857.2 | 788.6 |
| 3 | Berat pasir kering setelah dicuci (B) | gram | 849.4 | 779.7 |
| 4 | Kadar lumpur ((A) - (B) / A) x 100 % | | 0.91 | 1.13 |
| Kadar lumpur Rata-rata | | | 1.02 | |
| | Berat Cawan | gram | 292.80 | 288.00 |

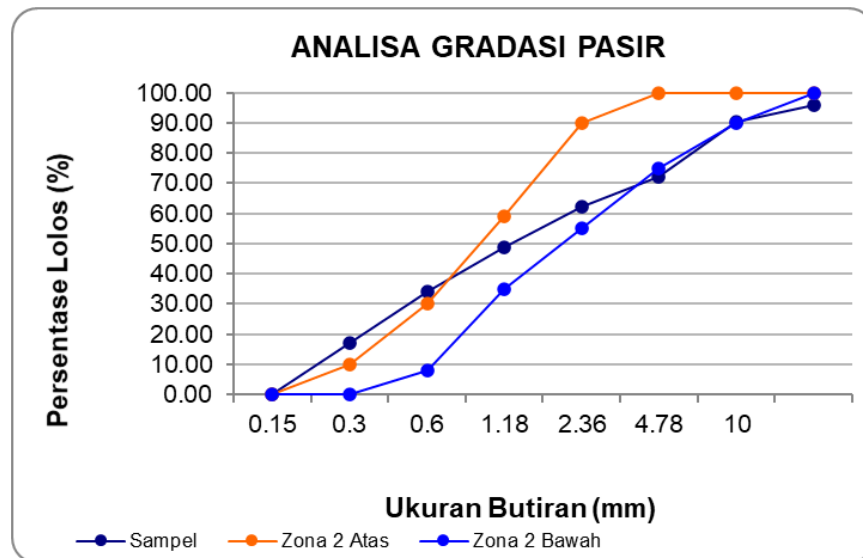
Berdasarkan hasil uji lab, kadar lumpur pasir di dapat hasil sebesar 1,02 %.

d. Hasil Uji Gradasi Pasir

Tabel 4. 4 Hasil Uji Gradasi Pasir

| PENGUJIAN ANALISA GRADASI PASIR | | | | | | |
|--|----------------------------------|---|-----------------------------------|--|---|--|
| Diameter ayakan (mm) | Berat Saringan (gram) | Berat saringan + tertahan (gram) | Berat tertahaan (gram) | Persentase berat tertahan (%) | Berat kumulatif tertahan (%) | Berat kumulatif lolos (%) |
| 10 (9,5) | 424.3 | 540.2 | 115.9 | 4.03 | 4.03 | 95.97 |
| 4.75 | 586.4 | 745.0 | 158.6 | 5.51 | 9.54 | 90.46 |
| 2.36 | 316.2 | 840.2 | 524.0 | 18.20 | 27.74 | 72.26 |
| 1.18 | 512.3 | 796.4 | 284.1 | 9.87 | 37.61 | 62.39 |
| 0.6 | 456.3 | 845.4 | 389.1 | 13.52 | 51.13 | 48.87 |
| 0.3 | 451.0 | 872.0 | 421.0 | 14.63 | 65.75 | 34.25 |
| 0.15 | 429.6 | 927.6 | 498.0 | 17.30 | 83.05 | 16.95 |
| PAN | 439.8 | 927.6 | 487.8 | 16.95 | 100.00 | 0.00 |
| Jumlah | | | 2878.5 | 100.00 | 278.85 | |
| Modulus Halus Butir (MHB) : | | | 2.788 | | | |

Dari hasil analisa, didapat nilai Modulus Halus Butir sebesar 2,788. Dan berikut dibawah ini disajikan grafik yang diperoleh hasil bahwa pasir masuk kategori zona II atau pasir agak kasar.



Gambar 4. 1 Grafik Gradasi Pasir

4.1.2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar yang dilakukan di dalam laboratorium meliputi pengujian berat jenis, bobot isi, kadar lumpur, dan uji gradasi. Hasil pengujian akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik berikut.

a. Berat Jenis Kerikil

Tabel 4. 5 Hasil Uji Berat Jenis Kerikil

| No | Uraian | | Hasil | |
|------------------------------|--|------|--------------|--------|
| | | | 1 | 2 |
| 1 | No cawan | | 1 | 2 |
| 2 | Berat sampel jenuh permukaan (SSD) (A) | Gram | 3559.2 | 3221.0 |
| 3 | Berat sampel dalam air (B) | Gram | 2224.8 | 2007.9 |
| 4 | Berat sampel kering (C) | Gram | 3485.2 | 3157.8 |
| 5 | Berat jenis (bulk) (C/ (A-B)) | | 2.61 | 2.60 |
| 6 | Berat jenis (SSD) (A/ (A-B)) | | 2.67 | 2.66 |
| 7 | Berat jenis semu (C/ (C-B)) | | 2.77 | 2.75 |
| 8 | Penyerapan ((A-C) / C) x 100% | | 2.12 | 2.00 |
| Berat jenis rata-rata | | | 2.607 | |
| | Berat Cawan | Gram | 234.4 | 255.9 |
| | Berat Cawan + SSD | Gram | 3793.6 | 3476.9 |

Dari hasil uji laboratorium, didapat berat jenis kerikil sebesar $2,607 \text{ gr/cm}^3$
Hal ini berarti kerikil yang digunakan masuk dalam kategori agregat normal.

b. Bobot Isi Kerikil

Tabel 4. 6 Hasil Uji Bobot Isi Kerikil

BOBOT ISI LEPAS

| Nomor | Uraian | | Hasil | |
|------------------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------|--------|
| | | | 1 | 2 |
| 1 | No cawan | | | |
| 2 | Berat container kosong (A) | Gram | 231.4 | 231.4 |
| 3 | Berat container + sampel pasir (B) | cm ³ | 1540.9 | 1555.7 |
| 4 | Berat Agregat (C) = (B) - (A) | Gram | 1309.5 | 1324.3 |
| 5 | Volume container (D) | Gram | 1000 | 1000 |
| 6 | Bobot isi lepas (C) / (D) | gram/cm ³ | 1.310 | 1.324 |
| Bobot isi rata – rata | | | 1.317 | |

BOBOT ISI PADAT

| Nomor | Uraian | | Hasil | |
|------------------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------|--------|
| | | | 1 | 2 |
| 1 | No cawan | | | |
| 2 | Berat container kosong (A) | Gram | 231.4 | 231.4 |
| 3 | Berat container + sampel pasir (B) | cm ³ | 1739.9 | 1747.2 |
| 4 | Berat Agregat (C) = (B) - (A) | Gram | 1508.5 | 1515.8 |
| 5 | Volume container (D) | Gram | 1000 | 1000 |
| 6 | Bobot isi lepas (C) / (D) | gram/cm ³ | 1.509 | 1.516 |
| Bobot isi rata – rata | | | 1.512 | |

Dari hasil pengujian laboratorium, didapat hasil bobot isi kerikil lepas sebesar $1,317 \text{ gram/cm}^3$, sementara bobot isi padat sebesar $1,512 \text{ gram/cm}^3$

c. Kadar Lumpur Kerikil

Tabel 4. 7 Hasil Uji Bobot Isi Kerikil

| No | Uraian | | Hasil | |
|-------------------------------|---|------|-------------|--------|
| | | | 1 | 2 |
| 1 | No cawan | | | |
| 2 | Berat kering sebelum dicuci (A) | gram | 1146.4 | 1251.3 |
| 3 | Berat pasir kering setelah dicuci (B) | gram | 1136.4 | 1238.3 |
| 4 | Kadar lumpur ((A) - (B) / A) x 100 % | | 0.87 | 1.04 |
| Kadar lumpur Rata-rata | | | 0.96 | |
| | Berat Cawan | gram | 124.40 | 133.80 |

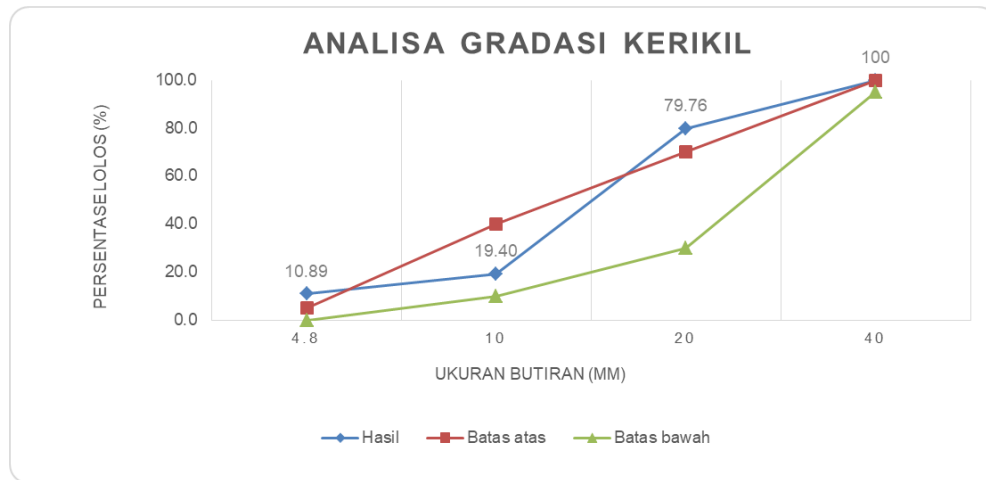
Hasil pengujian kadar lumpur di laboratorium, didapat hasil 0,96%.

d. Hasil Uji Gradasi Kerikil

Tabel 4. 8 Hasil Uji Gradasi Kerikil

| Diameter ayakan (mm) | Berat saringan (gram) | Berat saringan + tertahan (gram) | Berat tertahan (gram) | Persentase berat Tertahan (%) | Berat kumulatif Tertahan (%) | Berat kumulatif lolos (%) |
|---|--------------------------|--|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 50 | 448.8 | 448.8 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 38.1 | 497.6 | 497.6 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 19 | 425.2 | 982.8 | 557.6 | 20.24 | 20.24 | 79.76 |
| 9.5 | 424.3 | 2086.6 | 1662.3 | 60.35 | 80.60 | 19.40 |
| 4.75 | 586.4 | 820.8 | 234.4 | 8.51 | 89.11 | 10.89 |
| 2.36 | 316.2 | 557.4 | 241.2 | 8.76 | 97.87 | 2.13 |
| 1.18 | 512.3 | 512.3 | 0.0 | 0.00 | 97.87 | 2.13 |
| 0.6 | 456.3 | 456.3 | 0.0 | 0.00 | 97.87 | 2.13 |
| 0.3 | 451.0 | 451.0 | 0.0 | 0.00 | 97.87 | 2.13 |
| 0.15 | 429.6 | 429.6 | 0.0 | 0.00 | 97.87 | 2.13 |
| PAN | 439.8 | 498.6 | 58.8 | 2.13 | | |
| Jumlah | | | 2754.3 | 100.00 | 679.28 | |
| Modulus Halus Butir (MHB) : 6.79 | | | | | | |

Dari hasil pengujian laboratorium dan analisa terhadap gradasi butiran kerikil didapat Modulus Halus Butir sebesar 6,79. Berikut grafik gradasi kerikil :



Gambar 4. 2 Grafik Gradasi Kerikil

4.2. Mix Design Beton

Perhitungan *mix design* dalam penelitian ini menggunakan acuan dari SNI 03-2834-2000. Dari perhitungan *mix design* tersebut didapatkan kebutuhan bahan per m³, kebutuhan bahan membuat silinder, dan kebutuhan bahan per benda uji.

Tabel 4. 9 Kebutuhan Material per 1 m³

| KEBUTUHAN BAHAN TOTAL | | |
|-----------------------|-------------|------------|
| 24 | Berat total | 2370 kg |
| 25 | Air | 180 liter |
| 26 | Semen | 285.00 kg |
| 27 | Pasir | 762.00 kg |
| 28 | Kerikil | 1143.00 kg |

Tabel 4. 10 Total Kebutuhan Benda Uji Silinder

| PORPOSI UNTUK SATU KALI ADUKAN BETON (BENDA UJI SILINDER 15 CM X 30 CM) | | |
|---|--|---------------|
| 29 | Berat Total 3 Silinder | 43.14 kg |
| 30 | Air + 15% residu | 3.00 liter |
| 31 | Semen + 15% residu | 4.76 kg |
| 32 | Pasir + 15% residu | 16.30 kg |
| 33 | Kerikil + 15% residu | 19.08 kg |
| 34 | Perbandingan berat semen : pasir : kerikil | 1 : 2.6 : 4.0 |

Tabel 4. 11 Total Kebutuhan Benda Uji Balok

| PORPOSI UNTUK SATU KALI ADUKAN BETON (BENDA UJI BALOK T) | | | |
|--|--|---------------|-------|
| 29 | Berat total | 161.89 | kg |
| 30 | Air | 12.30 | liter |
| 31 | Semen | 19.47 | kg |
| 32 | Pasir | 52.05 | kg |
| 33 | Kerikil | 78.08 | kg |
| 34 | Perbandingan berat semen : pasir : kerikil | 1 : 2.6 : 4.0 | |

Dari tabel diatas dapat dilihat kebutuhan bahan untuk 1m^3 , kebutuhan bahan satu kali adukan beton untuk mengontrol ketepatan mutu campuran berupa sampel silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang diuji pada umur 28 hari. Dapat juga dilihat kebutuhan bahan satu kali adukan beton untuk uji kuat lentur dengan dimensi balok T lebar *flens* 75 mm dan tinggi *flens* 80 mm, lebar bawah 150 mm, *h* tinggi 250 mm, lebar atas 300 mm.

4.3 Pengujian Slump

Nilai slump diperlukan untuk mengetahui *workability* dari beton. Dari pengujian *slump* adukan beton didapatkan nilai *slump* 13 cm.

4.4 Pengujian Kuat Tekan Beton

Untuk pengujian kuat tekan beton dilakukan saat benda uji berumur 28 hari dengan menggunakan *compression testing machine* sehingga didapatkan beban maksimum. Uji kuat tekan menggunakan sampel *silinder* sebanyak 3 buah. Hasil pengujian didapatkan hasil di tabel berikut :

Tabel 4. 12 Hasil Uji Kuat Tekan Sampel Silinder

| Sampel | Mpa |
|-------------|-------|
| A | 12,55 |
| B | 12,16 |
| C | 10,29 |
| Rata - Rata | 11,66 |



Gambar 4. 3 Uji Kuat Tekan

4.5 Pengujian Kuat Tarik Plat Baja

Tabel 4. 13 Kuat Tarik Plat Baja

| PEMERIKSAAN KUAT TARIK PLAT BAJA | | | |
|---|-----------------|-------------|-------------|
| Kode sampel uji | Tebal Plat (mm) | f_y (Mpa) | f_u (Mpa) |
| A | 2,0 | 349 | 387 |

Dari hasil pengujian plat baja, didapat nilai tegangan leleh (f_y) dan tegangan maksimum (f_u) untuk setiap plat baja. Plat baja dengan ketebalan 2 mm didapat nilai f_y sebesar 349 MPa dan f_u sebesar 387 MPa.

4.6 Pengujian Balok T

1. Balok Kontrol (BK1)

Data teknis dari balok kontrol akan disajikan dalam tabel di bawah ini :

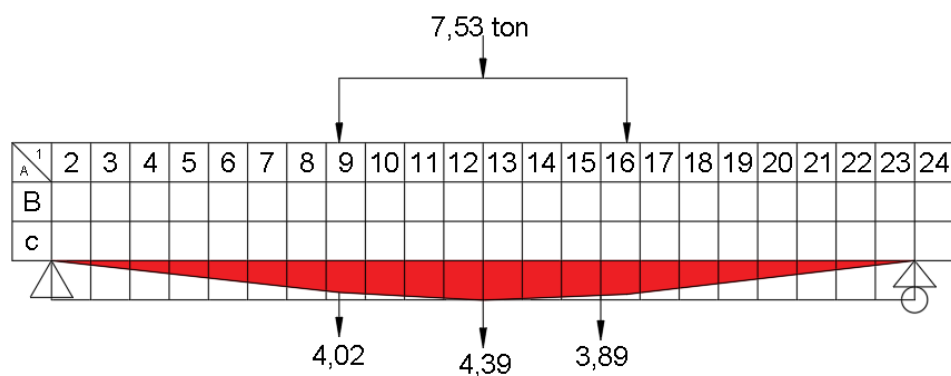
Tabel 4. 14 Data Teknis Balok Kontrol

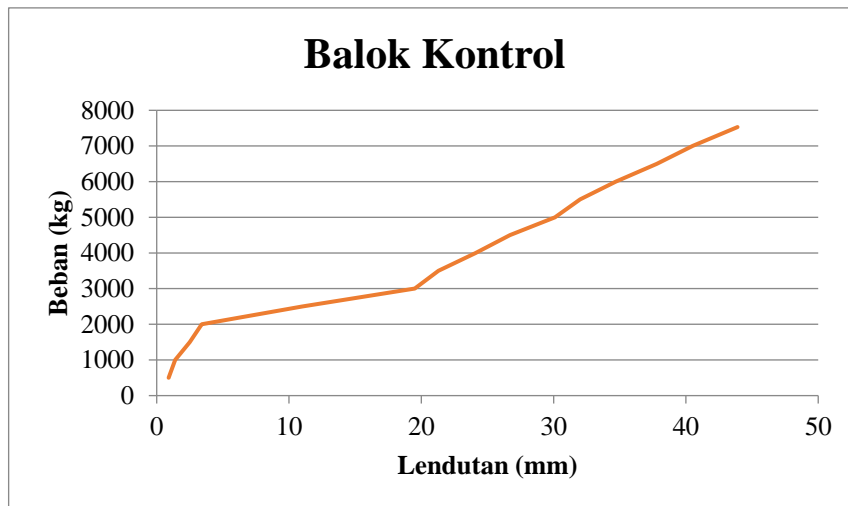
| | |
|--------------------|--|
| Dimensi Balok (cm) | be : 30 h : 25 hf : 8 bw : 15 |
| Mutu Beton (Mpa) | 11,66 |

Tabel 4. 15 Lendutan Balok Kontrol

| Balok Kontrol | | | | Keterangan |
|---------------|--------|--------|--------|----------------|
| Beban (kg) | Dial 1 | Dial 2 | Dial 3 | |
| 500 | 4,5 | 6,2 | 4,2 | |
| 1000 | 7,5 | 8,2 | 6,0 | |
| 1500 | 11,3 | 12,3 | 9,6 | |
| 2000 | 13,5 | 14,9 | 12,5 | |
| 2500 | 17,3 | 18,0 | 14,9 | |
| 3000 | 19,0 | 19,5 | 19,6 | |
| 3500 | 21,0 | 21,3 | 20,9 | First Crack |
| 4000 | 23,5 | 24,1 | 24,0 | |
| 4500 | 25,5 | 26,7 | 27,3 | |
| 5000 | 27,0 | 30,1 | 29,2 | |
| 5500 | 29,0 | 32,0 | 31,5 | |
| 6000 | 30,5 | 34,7 | 33,8 | |
| 6500 | 32,5 | 37,8 | 34,5 | |
| 7000 | 35,0 | 40,5 | 37,7 | |
| 7530 | 40,2 | 43,9 | 38,9 | Beban Maksimum |

Dari tabel dan gambar yang disajikan diatas, dapat dibuat grafik hubungan antara beban dan lendutan seperti gambar di bawah ini :

**Gambar 4. 4** Lendutan Pada Balok Kontrol



Gambar 4. 5 Grafik Lendutan Balok Kontrol

Berdasarkan pengujian, keruntuhan terjadi pada tengah bentang lalu berlanjut pada pola keruntuhan karena lentur. Kapasitas beban maksimal balok sampai mengalami keruntuhan yaitu 7,53 ton dan balok mengalami keretakan awal pada beban 3,5 ton.

2. Balok Perkuatan Baut BP1(1)

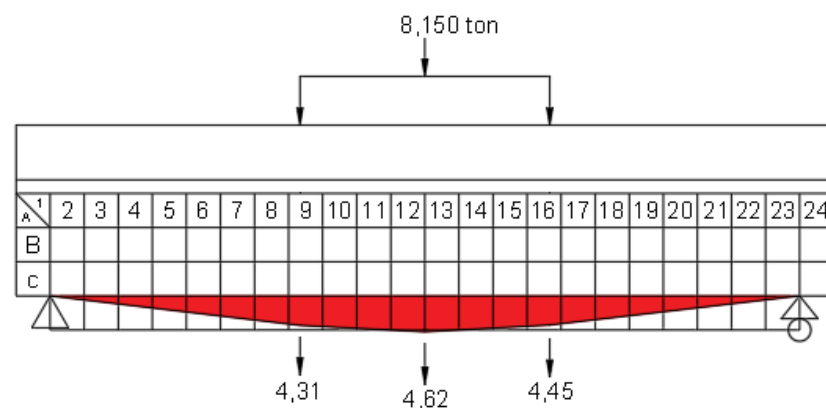
Data teknis dari balok perkuatan baut akan disajikan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 4. 16 Data Teknis BP 1(1)

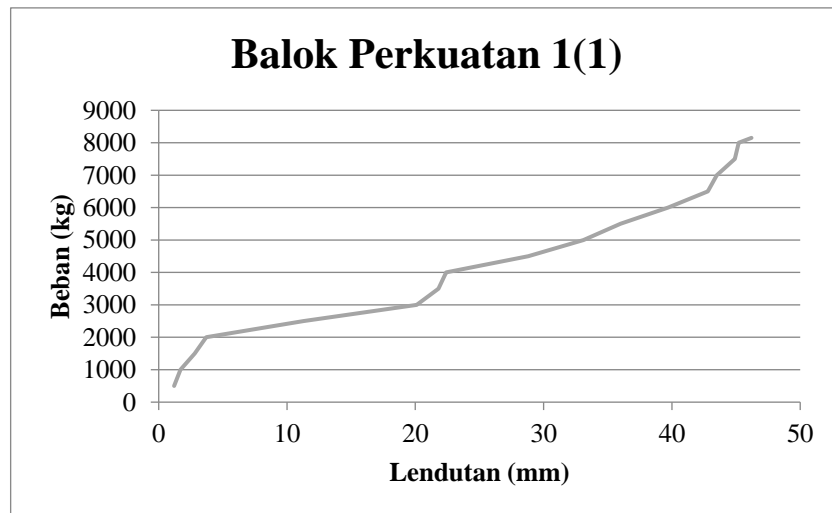
| | |
|----------------------------------|----------------|
| Dimensi Balok (cm) | be : 30 |
| | h : 25 |
| | hf : 8 |
| | bw : 15 |
| Mutu Beton (Mpa) | 11,66 |
| Tebal Plat (mm) | 2,0 |
| Dimensi Plat | 0,2 x 30 x 120 |
| Berat Plat (Kg/cm ²) | 5.875 |

Tabel 4. 17 Lendutan BP 1(1)

| Balok Perkuatan Baut (1) | | | | Keterangan |
|--------------------------|--------|--------|--------|----------------|
| Beban | Dial 1 | Dial 2 | Dial 3 | |
| 500 | 0,5 | 1,2 | 0,4 | |
| 1000 | 1,9 | 1,7 | 2,1 | |
| 1500 | 5,0 | 2,8 | 4,5 | |
| 2000 | 7,8 | 3,7 | 6,7 | |
| 2500 | 11,1 | 11,3 | 13,1 | |
| 3000 | 13,5 | 20,1 | 14,5 | |
| 3500 | 16,7 | 21,8 | 15,6 | |
| 4000 | 18,2 | 22,4 | 19,3 | First Crack |
| 4500 | 20,4 | 28,8 | 20,5 | |
| 5000 | 26,8 | 33,1 | 24,3 | |
| 5500 | 29,1 | 36,0 | 28,9 | |
| 6000 | 33,6 | 39,7 | 31,9 | |
| 6500 | 37,5 | 42,8 | 36,9 | |
| 7000 | 39,0 | 43,5 | 39,5 | |
| 7500 | 41,0 | 44,9 | 42,3 | |
| 8000 | 42,1 | 45, 2 | 43,3 | |
| 8150 | 43,1 | 46, 2 | 44,5 | Beban Maksimum |

**Gambar 4. 6** Lendutan Pada Balok Perkuatan Baut

Dari tabel dan gambar yang disajikan diatas, dapat dibuat grafik hubungan antara beban dan lendutan seperti gambar di bawah ini :



Gambar 4. 7 Grafik Lendutan Balok BP1(1)

Berdasarkan pengujian, keruntuhan terjadi pada tengah bentang lalu berlanjut pada pola keruntuhan karena geser. Kapasitas maksimal balok sampai mengalami keruntuhan yaitu 8,150 ton dan balok mengalami keretakan awal pada beban 4 ton.

3. Balok Perkuatan Baut BP 1(2)

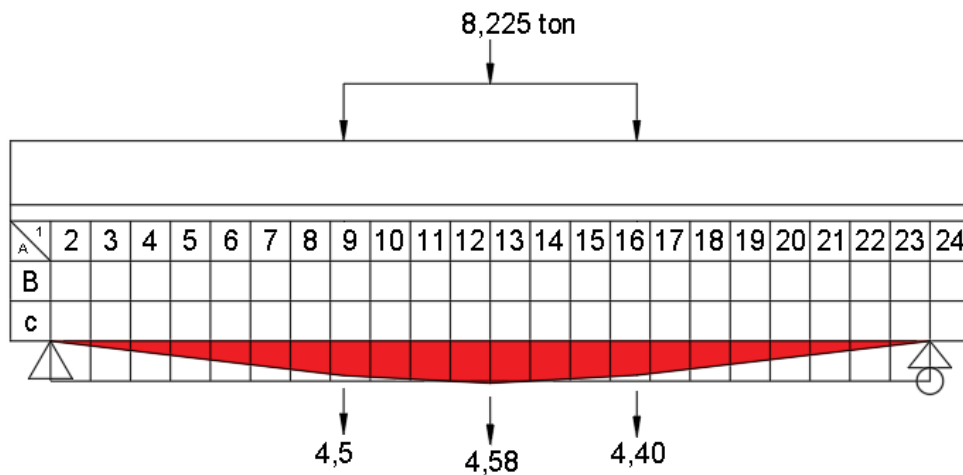
Data teknis dari balok perkuatan baut akan disajikan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 4. 18 Data Teknis BP 1(2)

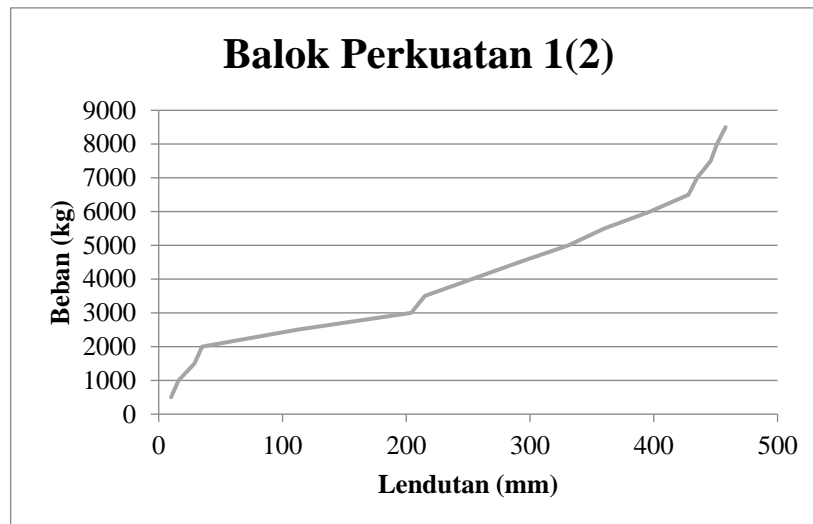
| | |
|----------------------------------|----------------|
| Dimensi Balok (cm) | be : 30 |
| | h : 25 |
| | hf : 8 |
| | bw : 15 |
| Mutu Beton (Mpa) | 11,66 |
| Tebal Plat (mm) | 2,0 |
| Dimensi Plat | 0,2 x 30 x 120 |
| Berat Plat (Kg/cm ²) | 5.875 |

Tabel 4. 19 Lendutan BP 1(2)

| Balok Perkuatan Baut (2) | | | | Keterangan |
|--------------------------|--------|--------|--------|----------------|
| Beban | Dial 1 | Dial 2 | Dial 3 | |
| 500 | 0,8 | 1,6 | 0,7 | |
| 1000 | 2,3 | 1,8 | 2,2 | |
| 1500 | 5,5 | 2,9 | 4,0 | |
| 2000 | 8,0 | 3,5 | 7,3 | |
| 2500 | 11,7 | 11,2 | 12,1 | |
| 3000 | 13,8 | 20,4 | 14,3 | |
| 3500 | 17,3 | 21,5 | 17,6 | |
| 4000 | 19,0 | 25,3 | 20,0 | First Crack |
| 4500 | 21,5 | 29,1 | 23,2 | |
| 5000 | 15,5 | 33,1 | 26,8 | |
| 5500 | 19,5 | 36,0 | 29,5 | |
| 6000 | 34,5 | 39,7 | 32,0 | |
| 6500 | 38,0 | 42,8 | 34,7 | |
| 7000 | 39,5 | 43,5 | 38,0 | |
| 7500 | 43,3 | 44,6 | 42,2 | |
| 8000 | 44,0 | 45, 1 | 43,8 | |
| 8225 | 45,0 | 45,8 | 44,0 | Beban Maksimum |

**Gambar 4. 8** Lendutan Pada Balok Perkuatan Baut

Dari tabel dan gambar yang disajikan diatas, dapat dibuat grafik hubungan antara beban dan lendutan seperti gambar di bawah ini :



Gambar 4. 9 Grafik Lendutan Balok BP1(2)

Berdasarkan pengujian, keruntuhan terjadi pada tengah bentang lalu berlanjut pada pola keruntuhan karena geser. Kapasitas maksimal balok sampai mengalami keruntuhan yaitu 8,225 ton dan balok mengalami keretakan awal pada beban 4 ton.

4. Balok Perkuatan Lem BP2(1)

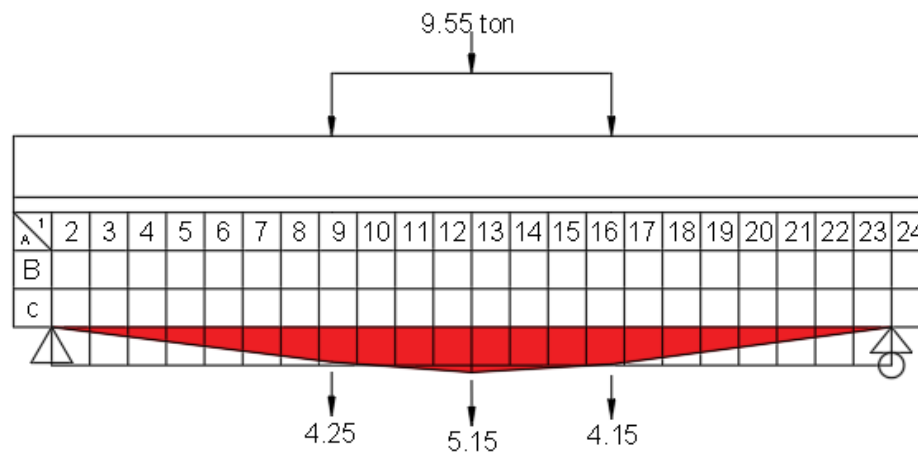
Data teknis dari balok perkuatan baut akan disajikan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 4. 20 Data Teknis BP 2(1)

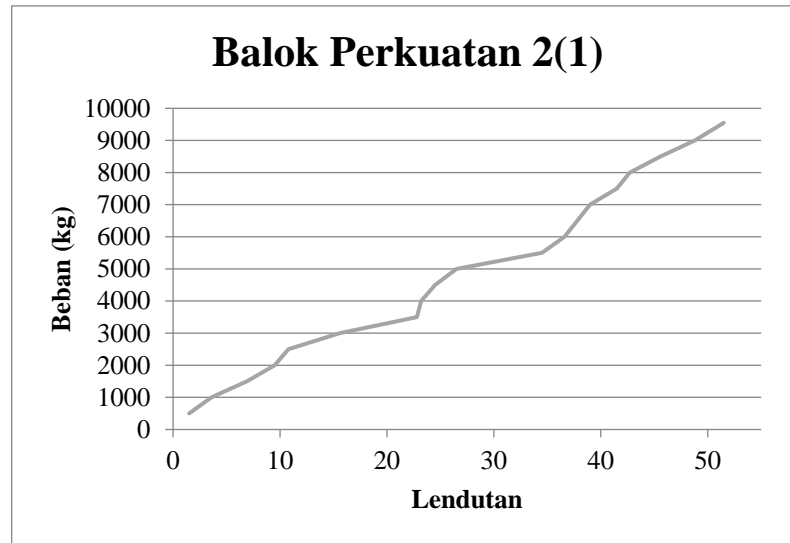
| | |
|----------------------------------|----------------|
| Dimensi Balok (cm) | be : 30 |
| | h : 25 |
| | hf : 8 |
| | bw : 15 |
| Mutu Beton (Mpa) | 11,66 |
| Tebal Plat (mm) | 2,0 |
| Dimensi Plat | 0,2 x 30 x 120 |
| Berat Plat (Kg/cm ²) | 5.875 |

Tabel 4. 21 Lendutan BP 2(1)

| Balok Perkuatan 2 (1) | | | | Keterangan |
|-----------------------|--------|--------|--------|----------------|
| Beban | Dial 1 | Dial 2 | Dial 3 | |
| 500 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | |
| 1000 | 2,5 | 3,6 | 2,7 | |
| 1500 | 4,9 | 6,9 | 4,5 | |
| 2000 | 7,5 | 9,5 | 7,2 | |
| 2500 | 10,5 | 10,8 | 10,3 | |
| 3000 | 12,0 | 15,6 | 13,5 | |
| 3500 | 14,6 | 22,8 | 15,4 | |
| 4000 | 16,5 | 23,2 | 15,5 | |
| 4500 | 18,5 | 24,5 | 18,8 | |
| 5000 | 21,2 | 26,5 | 22,0 | First Crack |
| 5500 | 23,3 | 34,5 | 23,5 | |
| 6000 | 25,5 | 36,6 | 25,5 | |
| 6500 | 28,6 | 37,8 | 28,3 | |
| 7000 | 32,0 | 39,0 | 32,3 | |
| 7500 | 33,0 | 41,5 | 33,8 | |
| 8000 | 36,7 | 42,7 | 36,0 | |
| 8500 | 37,6 | 45,6 | 38,0 | |
| 9000 | 41,0 | 48,8 | 40,5 | |
| 9550 | 42,5 | 51,5 | 41,5 | Beban Maksimum |

**Gambar 4. 10** Lendutan Pada Balok BP 2(1)

Dari tabel dan gambar yang disajikan diatas, dapat dibuat grafik hubungan antara beban dan lendutan seperti gambar di bawah ini :



Gambar 4. 11 Grafik Lendutan Balok BP 2(1)

Berdasarkan pengujian, keruntuhan terjadi pada tengah bentang lalu berlanjut pada pola keruntuhan karena geser. Kapasitas maksimal balok sampai mengalami keruntuhan yaitu 9,550 ton dan balok mengalami keretakan awal pada beban 5 ton.

5. Balok Perkuatan Lem BP2(2)

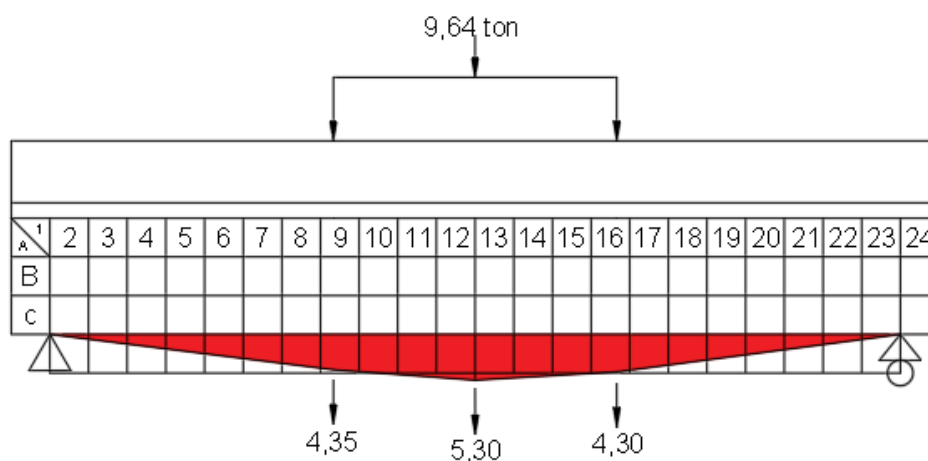
Data teknis dari balok perkuatan baut akan disajikan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 4. 22 Data Teknis BP 2(2)

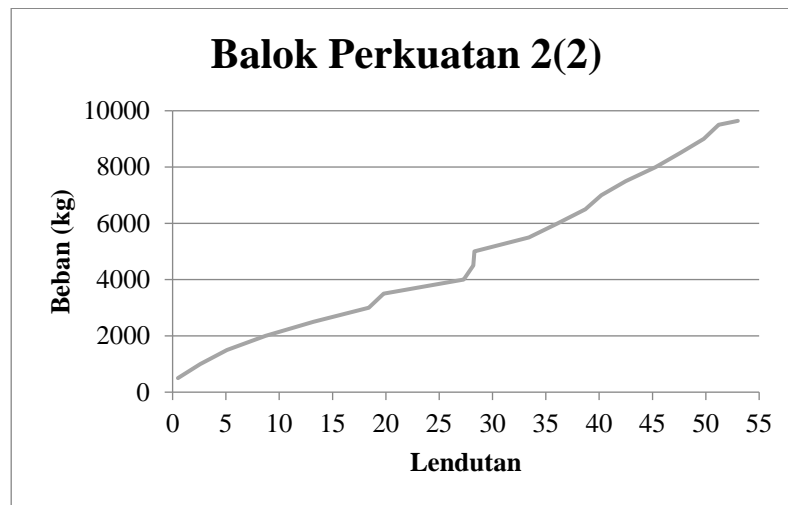
| | |
|----------------------------------|--|
| Dimensi Balok (cm) | be : 30 h : 25 hf : 8 bw : 15 |
| Mutu Beton (Mpa) | 11,66 |
| Tebal Plat (mm) | 2,0 |
| Dimensi Plat | 0,2 x 30 x 120 |
| Berat Plat (Kg/cm ²) | 5.875 |

Tabel 4. 23 Lendutan BP 2(2)

| Balok Perkuatan 2 (2) | | | | Keterangan |
|-----------------------|--------|--------|--------|-------------|
| Beban | Dial 1 | Dial 2 | Dial 3 | |
| 500 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | |
| 1000 | 2,4 | 2,6 | 2,8 | |
| 1500 | 4,8 | 5,1 | 5,2 | |
| 2000 | 8,5 | 8,7 | 8,2 | |
| 2500 | 11,0 | 11,2 | 11,2 | |
| 3000 | 13,5 | 12,4 | 14,0 | |
| 3500 | 15,6 | 19,8 | 16,4 | |
| 4000 | 17,5 | 21,3 | 17,5 | |
| 4500 | 19,5 | 24,5 | 19,8 | |
| 5000 | 21,0 | 28,7 | 21,9 | First Crack |
| 5500 | 23,5 | 30,5 | 24,5 | |
| 6000 | 26,5 | 32,5 | 27,0 | |
| 6500 | 28,5 | 35,6 | 29,3 | |
| 7000 | 32,1 | 38,9 | 32,1 | |
| 7500 | 33,0 | 41,0 | 33,7 | |
| 8000 | 35,7 | 42,8 | 36,4 | |
| 8500 | 37,8 | 45,6 | 38,8 | |
| 9000 | 41,5 | 49,8 | 41,8 | |
| 9500 | 42,5 | 51,0 | 42,5 | |
| 9640 | 43,5 | 53,0 | 43,0 | |

**Gambar 4. 12** Lendutan Pada BP 2 (2)

Dari tabel dan gambar yang disajikan diatas, dapat dibuat grafik hubungan antara beban dan lendutan seperti gambar di bawah ini :



Gambar 4.13 Grafik Lendutan Balok BP 2(2)

Berdasarkan pengujian, keruntuhan terjadi pada tengah bentang lalu berlanjut pada pola keruntuhan karena geser. Kapasitas maksimal balok sampai mengalami keruntuhan yaitu 9,64 ton dan balok mengalami keretakan awal pada beban 5 ton.

4.7 Analisa Kuat Lentur Balok T

1) Perhitungan Kuat Lentur Rencana Balok T

Sebelum melakukan pengujian di laboratorium diperlukan perhitungan analitis untuk mendapatkan nilai dari kapasitas Balok T. Perhitungan analitis meliputi perhitungan rasio tulangan, garis netral dan kuat momen nomina. Nilai ϕ diambil = 1 untuk keperluan laboratorium dalam analisis kuat lentur (Triandono, 2015). Dengan menggunakan langkah-langkah yang ada pada Gambar 2.4 didapat hasil untuk balok T (BK1) sebagai berikut.

Diketahui :

| | | | |
|---------------|----------|-------|---------------------------|
| d | = 168 mm | b | = 300 mm |
| b_e | = 150 mm | h_f | = 80 mm |
| f'_c | = 10 MPa | f_y | = 280 MPa |
| ϕ_{tul} | = 16 mm | A_s | = 804,247 mm ² |
| ϕ_{tul}' | = 8 mm | A_s | = 100,571 mm ² |
| β_1 | = 0,85 | E | = 200000 MPa |

Penyelesaian :

Perhitungan rasio tulangan dalam keadaan seimbang (ρ_b)

$$\overline{\rho b} = \frac{0,85 f_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \quad (2-17)$$

$$= 0,017593$$

$$\rho f = 0,85 f_c \cdot (b - b_w) \cdot \frac{h_f}{f_y \cdot b_w \cdot d} \quad (2-18)$$

$$= 0,014456$$

$$\rho b = \frac{b_w}{b} [\overline{\rho b} - \rho f] \quad (2-16)$$

$$= 0,016025$$

Perhitungan rasio tulangan terpakai (ρ)

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} \quad (4-1)$$

$$= 0,031915$$

karena $\rho > \rho_b$ maka Balok T merupakan balok *over-reinforced*, yang berakibat beton mencapai regangan maksimum (0,003) lebih dahulu sementara baja tulangan belum mencapai tegangan leleh ($f_s < f_y$), sehingga dengan analisis geometri pada diagram regangan **gambar 2.3** dapat diperoleh :

Perhitungan garis netral (C)

$$\left(\frac{0,85 f'_c}{0,003 E_s \rho} \right) a^2 + a \cdot d - \beta_1 \cdot d^2 = 0 \quad (2-4)$$

$$\left(\frac{0,85 f'_c}{0,003 \cdot 200000 \cdot 0,0319} \right) a^2 + a \cdot 168 - 0,85 \cdot 168^2 = 0$$

dengan metode persamaan kuadrat maka didapat nilai $a = 110,524 \text{ mm}$

$$c = \frac{a}{\beta_1} \quad (4-2)$$

$$= 130,028 \text{ mm}$$

$$f_s = 0,003 \cdot \frac{d-c}{c} E_s \quad (2-2)$$

$$= 175,215 \text{ MPa}$$

karena nilai $c \geq h_f$ maka menggunakan analisa balok T murni

$$A_s f = \frac{0,85 \cdot f'_c (b - b_w) \cdot h_f}{f_s} + (A_s') \quad (4-3)$$

$$= 682,712 \text{ mm}^2$$

Perhitungan momen nomina balok T :

$$Mn1 = As1 \cdot fs \cdot (d - a/2) \quad (2-20)$$

$$= (As - Asf) \cdot fs \cdot (d - a/2)$$

$$= 2,400 \text{ kN.m}$$

$$Mn2 = As2 \cdot fs \cdot (d - hf/2) \quad (2-21)$$

$$= Asf \cdot fs \cdot (d - hf/2)$$

$$= 15,311 \text{ kN.m}$$

$$Mn = Mn1 + Mn2 \quad (2-22)$$

$$= 17,712 \text{ kN.m}$$

Selanjutnya untuk analisis kuat lentur balok perkuatan (BP1) diperlukan nilai perbandingan modulus elastisitas baja dan beton (n) yang nantinya akan berpengaruh pada tinggi efektif balok (d).

Diketahui :

$$d = 168 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

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

$$hf = 80 \text{ mm}$$

$$f'c = 10 \text{ MPa}$$

$$fy = 280 \text{ MPa}$$

$$\varnothing_{tul} = 16 \text{ mm}$$

$$As = 804,247 \text{ mm}^2$$

$$\varnothing_{tul}' = 8 \text{ mm}$$

$$As = 100,571 \text{ mm}^2$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

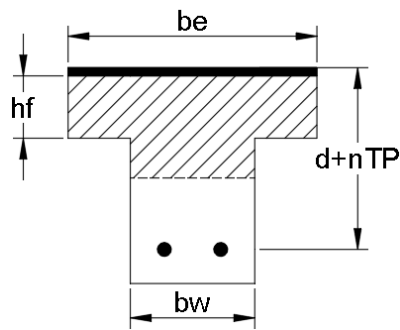
$$Ec = 4700 \sqrt{f'c}$$

$$Tp = 2 \text{ mm}$$

$$= 14862,70 \text{ MPa}$$

Penyelesaian :

Perhitungan tinggi efektif setelah penambahan plat menggunakan metode lentur yang memperhitungkan variabel n dimana n adalah rasio antara modulus elastisitas baja dengan modulus elastisitas beton, sehingga mutu beton dan mutu baja sangat mempengaruhi nilai n .



Gambar 4. 14 Tinggi Balok Setelah Penambahan Plat

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (2-22)$$

$$= 13,456$$

$$nTP = \text{Tebal plat} \times n \quad (2-23)$$

$$= 26,913 \text{ mm}$$

$$d = 168 \text{ mm} + nTP \quad (2-24)$$

$$= 194,91 \text{ mm}$$

Perhitungan rasio tulangan dalam keadaan seimbang (ρ_b)

$$\overline{\rho_b} = \frac{0,85 f_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \quad (2-17)$$

$$= 0,017593$$

$$\rho_f = 0,85 f_c \cdot (b - b_w) \cdot \frac{h_f}{f_y \cdot b_w \cdot d} \quad (2-18)$$

$$= 0,014456$$

$$\rho_b = \frac{b_w}{b} [\overline{\rho_b} - \rho_f] \quad (2-16)$$

$$= 0,016025$$

Perhitungan rasio tulangan terpakai (ρ)

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} \quad (4-1)$$

$$= 0,027508$$

karena $\rho > \rho_b$ maka Balok T merupakan balok *over-reinforced*, yang berakibat beton mencapai regangan maksimum (0,003) lebih dahulu sementara baja tulangan belum mencapai tegangan leleh ($f_s < f_y$), sehingga dengan analisis geometri pada diagram regangan **gambar 2.3** dapat diperoleh :

Perhitungan garis netral (C)

$$\left(\frac{0,85 f' C}{0,003 E s \rho} \right) a^2 + a \cdot d - \beta 1 \cdot d^2 = 0 \quad (2-4)$$

$$\left(\frac{0,85 f' C}{0,003 \cdot 200000 \cdot 0,027893} \right) a^2 + a \cdot 194,91 - 0,85 \cdot 192,91^2 = 0$$

dengan metode persamaan kuadrat maka didapat nilai $a = 124,63 \text{ mm}$

$$c = \frac{a}{\beta 1} \quad (4-2)$$

$$= 146,62 \text{ mm}$$

$$f_s = 0,003 \cdot \frac{d-c}{c} E s \quad (2-2)$$

$$= 197,58 \text{ MPa}$$

karena nilai $c \geq hf$ maka menggunakan analisa balok T murni

$$A_s f = \frac{0,85 \cdot f' C (b-b_w) \cdot hf}{f_s} + (A_s') \quad (4-3)$$

$$= 616,80 \text{ mm}^2$$

Perhitungan momen nomina balok T :

$$M_{n1} = A_{s1} \cdot f_s \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2-20)$$

$$= (A_s - A_{sf}) \cdot f_s \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 5,17 \text{ kN.m}$$

$$M_{n2} = A_{sf} \cdot f_s \cdot \left(d - \frac{hf}{2} \right) \quad (2-21)$$

$$= A_{sf} \cdot f_s \cdot \left(d - \frac{hf}{2} \right)$$

$$= 18,87 \text{ kN.m}$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (2-22)$$

$$= 24,05 \text{ kN.m}$$

Berdasarkan hasil analisis di atas kapasitas momen yang dapat dipikul oleh balok dengan perkuatan desak plat baja sebesar 24,05 kN.m, terjadi kenaikan jika dibandingkan dengan balok kontrol yang memiliki kapasitas momen sebesar 17,72 kN.m. secara teoritis dapat membuktikan bahwa perkuatan balok T dengan penambahan plat baja di bagian desak dapat meningkatkan kapasitas balok T.

2) Hasil pengujian kuat lentur Balok T

Selain mendapatkan hasil hasil perhitungan analitis diperlukan juga pengujian di laboratorium untuk mendapatkan perbandingan dari kedua cara tersebut. Pengujian kuat lentur dari balok beton bertulang tunggal menggunakan mesin *hydraulic jack*, *load cell* dan *load indicator*. Dari mesin tersebut diperoleh nilai P pada saat balok mengalami retak awal (Beban Retak) dan nilai P saat balok mencapai batas kekuatan (Beban Maksimum). Berikut ini adalah salah satu contoh data dalam penelitian (BK1).

Diketahui :

$$L = 1200 \text{ mm}$$

$$h = 250 \text{ mm}$$

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

$$P_{max} = 7,53 \text{ ton}$$

$$bf = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Luas Penampang} = 0,0945 \text{ m}^2$$

$$Wc = 2370 \text{ kg/m}^3$$

$$w = 0,0495 \text{ m}^2 \times Wc = 117,315 \text{ kg/m}$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} M_{maks} &= \frac{wL^2}{8} + \frac{PL}{6} \\ &= 1527,1167 \text{ kg.m} \\ &= 15,20 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

dari hasil pengujian laboratorium didapat momen maksimum balok T BK1 sebesar 15,20 kN.m hasil ini berbeda dengan perhitungan analisis nya yaitu sebesar 17,71 kN.m, berikut tabulasi kuat lentur dan beban maksimum balok T.

Tabel 4. 24 Tabulasi Momen dan Beban Maksimum Balok T

| No | Benda Uji | Momen Nomina (Mn) kN.m | Beban Maksimal (PU) Ton | Momen Maks (Mu) kN.m |
|----|-----------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 1 | BK 1 | 17,72 | 7,53 | 15,20 |
| 2 | BP 1(1) | 24,05 | 8,15 | 16,51 |
| 3 | BP 1(2) | 24,05 | 8,22 | 16,66 |
| 4 | BP 2(1) | 24,05 | 9,55 | 19,31 |
| 5 | BP 2(2) | 24,05 | 9,64 | 19,49 |

Dari hasil pengujian diatas didapatkan semua nilai momen balok T dengan perkuatan eksperimen lebih rendah dibandingkan dengan perhitungan analitisnya,.akan tetapi mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan balok kontrol (BK1). Kuat momen lentur balok T Perkuatan dengan media penghubung lem epoxy (BP2) lebih besar daripada menggunakan media penghubung baut (BP1), hal tersebut dapat terjadi dikarenakan perekatan plat baja dengan lem bekerja lebih baik sebagai material komposit dari pada menggunakan material penghubung dengan baut.

4.8 Penambahan kuat desak Balok T

Persentase penambahan kapasitas dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Persentase perkuatan} = \left(\frac{BP_n - BK}{BK} \times 100\% \right)$$

dimana :

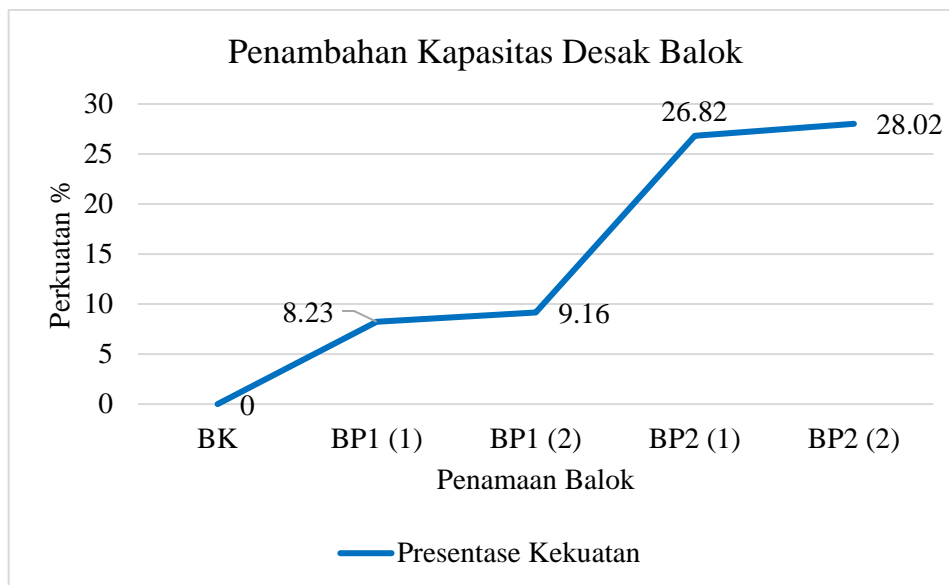
BP_n = Kapasitas Maksimum Balok Perkuatan

BK = Kapasitas Maksimum Balok Kontrol

hasil perhitungan yang disajikan dalam tabel dan grafik di bawah ini :

Tabel 4. 25 Persentase Penambahan Kapasitas Kuat Desak

| Benda Uji | Dimensi Perkuatan (cm) | | Media Pelekatan | Beban Maksimum (Ton) | Persentase Perkuatan (%) |
|-----------|------------------------|-------|-----------------|----------------------|--------------------------|
| | Tebal | Lebar | | | |
| BK | - | - | - | 7,53 | 0,00 |
| BP 1 (1) | 0,2 | 30 | Baut | 8,15 | 8,23 |
| BP 1 (2) | 0,2 | 30 | Baut | 8,22 | 9,16 |
| BP 2 (1) | 0,2 | 30 | Lem | 9,55 | 26,83 |
| BP 2 (2) | 0,2 | 30 | Lem | 9,64 | 28,02 |



Gambar 4. 15 Grafik Persentase Penambahan Kuat Desak

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa perkuatan balok T dengan media penghubung baut meningkat sebesar 8,23%-9,16%, sedangkan perkuatan balok T dengan media penghubung lem *epoxy* meningkat sebesar 26,82 % - 28,02%. Hal ini menunjukkan bahwa media penghubung bisa mempengaruhi hasil dari peningkatan beban maksimum. Untuk bisa memaksimalkan perkuatan maka perlu ditinjau lagi dari plat baja yang digunakan apakah ada perbedaan hasil dari plat baja polos dibandingkan plat baja kasar, ketebalan lem epoxy yang digunakan, banyaknya jumlah baut yang digunakan, ketebalan plat baja, posisi perkuatan, serta menggunakan material penghubung gabungan dari kombinasi *dynabolt* dan lem epoxy.

4.9 Kelebihan dan Kekurangan Perkuatan Desak

Dari hasil penelitian, didapatkan hasil bahwa perkuatan plat baja pada bagian desak dapat meningkatkan kapasitas balok dalam menahan beban maksimum. Perkuatan plat baja pada bagian desak juga dapat memperlambat munculnya first crack jika dibandingkan balok kontrol.

Mengingat dari hasil perbandingan balok kontrol dan balok perkuatan, lendutan yang terjadi pada balok perkuatan lebih besar maka perkuatan di daerah desak tidak disarankan. Menurut (Wibisono, Susastrawan, & Muntafi 2017)

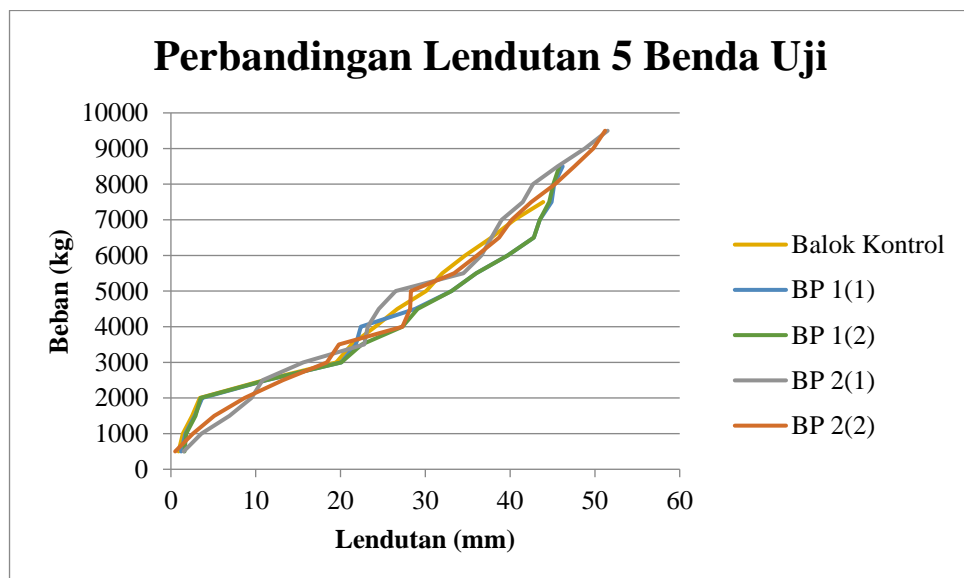
dengan penelitian berjudul “Penambahan Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Penambahan Pelat Baja “ disimpulkan bahwa perkuatan dengan pelat baja di daerah lentur dapat meningkatkan beban lebih besar dengan lendutan yang lebih kecil. Dari data yang dihasilkan dibuat perhitungan kelengkungan balok kontrol dan balok uji BP-1, BP-2, BP-3 menunjukkan kelengkungan yang lebih kecil dari balok kontrol BK. Hal ini disebabkan oleh berfungsinya plat baja pada bagian tarik beton dalam mencegah defleksi balok yang besar. Maka dari itu, perkuatan pada daerah lentur lebih disarankan agar supaya lendutan yang terjadi tidak terlalu besar. Lendutan yang terlalu besar atau melewati suatu batas yang diijinkan sangat berbahaya bagi elemen tersebut atau bisa berdampak pada elemen lainnya.

Selain itu pada material penghubung baut, nilai perkuatan hanya naik sebesar 8% - 9% dari kapisatas awal, hal ini dapat terjadi akibat pemasangan baut dynabolt dengan cara melakukan pengeboran pada balok yang sudah berumur 28 hari. Akibatnya penampang beton balok mengalami “kerusakan” sehingga penambahan perkuatan yang terjadi tidak signifikan. Oleh karena itu perlu ditinjau pada saat proses pemasangan baut pada proses pengecoran sehingga tidak menimbulkan celah antara baut dan beton yang membuat kerusakan. Selain itu perlu juga dilakukan penelitian lebih lanjut terkait banyaknya jumlah baut sebagai sambungan geser apakah dapat meningkatkan nilai perkuatan dari balok beton T.

4.10 Perbandingan Balok Kontrol dan Balok Perkuatan

A. Defleksi/Lendutan

Lendutan pada balok diperoleh dari *dial gauge* saat melakukan pengujian. Terlihat dari tabel 4.16 bahwa rata-rata lendutan maksimum pada balok kontrol yaitu 43,9 mm. Pada balok perkuatan 1(1) dan 1(2) lendutan maksimumnya 45,5 mm dan 46,7 mm. Sedangkan pada balok perkuatan 2(1) dan 2(2) lendutan maksimumnya 51,5 mm dan 53,0 mm. Dalam hal defleksi, balok perkuatan mengalami lendutan yang lebih besar dari balok kontrol yang menandakan balok perkuatan mempunyai daktilitas lebih tinggi daripada balok kontrol.



Gambar 4. 16 Grafik Perbandingan Lendutan Semua Benda Uji

B. Retak Awal/*First Crack*

Retak awal balok beton dapat diketahui dengan cara mengamati permukaan balok saat sedang diuji. Retak awal biasanya ditandai dengan retak rambut. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa balok kontrol mengalami retak awal saat diberi beban 3500 kilogram. Balok perkuatan 1(1) dan 1(2) mengalami retak awal saat diberi beban 4000 kilogram. Sedangkan balok perkuatan 2(1) dan 2(2) mengalami retak awal saat diberi beban 5000 kilogram. Dengan demikian pemberian plat pada balok bisa mempengaruhi proses retak awal pada balok walaupun tidak terlalu signifikan.



Gambar 4.17 Retak Awal Balok Kontrol



Gambar 4.18 Retak Awal Balok Perkuatan

C. Pola Retak dan Keruntuhan Balok

Beton akan mengalami keruntuhan saat beban sudah maksimum. Saat beton diuji, maka akan muncul pola retak yang disebabkan oleh pembebanan yang terjadi. Balok kontrol mengalami pola retak geser lentur. Pada balok perkuatan juga mengalami pola retak yang sama yaitu geser lentur. Pola retak geser lentur terjadi akibat pengaruh gaya geser dan momen lentur yang biasanya terjadi secara bersamaan.



Gambar 4.19 Pola Retak Balok Kontrol



Gambar 4.20 Pola Retak Balok Perkuatan

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya adalah sebagai berikut :

1. Penambahan plat baja pada bagian desak balok beton bertulang dapat meningkatkan kapasitas balok dengan hasil BK sebagai acuan kekuatan didapatkan nilai 7,530 ton dengan perkuatan sebesar 0%. Balok uji dengan penamaan BP 1(1) mendapatkan nilai dari hasil pengujian sebesar 8,15 ton dengan peningkatan sebesar 8,23 % terhadap balok kontrol. Balok uji dengan penamaan BP 1(2) mendapatkan nilai dari hasil pengujian sebesar 8,22 ton dengan peningkatan sebesar 9,16 % terhadap balok kontrol. Balok uji dengan penamaan BP 2(1) mendapatkan nilai dari hasil pengujian sebesar 9,55 ton dengan peningkatan sebesar 26,82 % terhadap balok kontrol. Balok uji dengan penamaan BP 2(2) mendapatkan nilai dari hasil pengujian sebesar 9,64 ton dengan peningkatan sebesar 28,02 % terhadap balok kontrol. Berdasarkan data diatas dapat disimpulkan bahwa penggunaan lem epoxy sebagai media penghubung pada balok perkuatan dapat bekerja lebih baik sebagai material penghubung dari pada menggunakan material penghubung dengan baut

2. Lendutan maksimal yang terjadi pada balok kontrol sebesar 4,39 cm. Pada balok uji dengan penamaan BP 1(1) lendutan maksimal yang terjadi sebesar 4,55 cm. Pada balok uji dengan penamaan BP 1(2) lendutan maksimal yang terjadi 4,67 cm. Pada balok uji dengan penamaan BP 2(1) lendutan maksimal yang terjadi sebesar 5,15 cm. Pada balok uji dengan penamaan BP 2(2) lendutan maksimal yang terjadi sebesar 5,30 cm. Lendutan yang terjadi masih terbilang cukup besar perlu adanya teknik perkuatan yang dapat menurunkan lendutan sehingga struktur sesuai dengan persyaratan dan aman digunakan.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan dari hasil penelitian, dapat disarankan beberapa hal sebagai berikut :

1. Mengingat dari hasil penelitian ini, persentase peningkatan kapasitas balok hanya mencapai 8,23 % - 28,02%, sehingga perkuatan di daerah tekan tidak layak untuk dilakukan.
2. Penggunaan material penghubung baut hanya meningkatkan kapasitas sebesar 9,16 % yang berarti sangat tidak signifikan. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait banyaknya jumlah baut yang digunakan dan cara pemasangan baut agar perkuatan balok yang dilakukan mendapatkan hasil yang optimal.
3. Jika meninjau dari momen yang terjadi, perkuatan sebaiknya dilakukan pada daerah tarik lentur pada balok seperti penelitian yang dilakukan oleh Kader dan Jaya (2013) dalam jurnalnya yang berjudul “Analisis Pola Retak dan Mekanisme Kegagalan Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan Lentur Lembar CFRP”
4. Perlu ditinjau dengan perbandingan menggunakan material penghubung lainnya seperti penggabungan baut dan lem epoxy sebagai media penghubung.

DAFTAR PUSTAKA

- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2000). *SNI 03-2834-2000 Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-6820 Spesifikasi agregat halus untuk pekerjaan adukan dan plesteran dengan bahan dasar semen*.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2004). *SNI 15-2049-2000 Semen portland*.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 1972:2008 Cara uji slump beton*.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 1974-2011 Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder*.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 4431-2011 Cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan*.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 2052:2017 Baja tulangan beton*.
- Ali Asroni. (2010). *Kolom Fondasi & Balok T Beton Bertulang*. Graha Ilmu.
- Almassri, B., & Halahla, A. M. (2020). Corroded RC beam repaired in flexure using NSM CFRP rod and an external steel plate. *Structures*, 27(May), 343–351. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.05.054>
- Arslan, G., Sevuk, F., & Ekiz, I. (2008). Steel plate contribution to load-carrying capacity of retrofitted RC beams. *Construction and Building Materials*, 22(3), 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.10.009>
- Dipohusodo, I. (1993). *Struktur Beton Bertulang*. PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Kader, I. M. S., & Jaya, I. M. (2013). *ANALISIS POLA RETAK DAN MEKANISME KEGAGALAN BALOK BETON BERTULANG DENGAN PERKUATAN LENTUR LEMBAR CFRP* (Vol. 13, Nomor 3).
- Layang, S. (2022). CRACKS IN REINFORCED CONCRETE BEAM. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 10(1), 6–12. <https://doi.org/10.37304/balanga.v10i1.3277>
- Lufi, M., & Subtoni. (2017). KAJIAN STRUKTUR BANGUNAN AKIBAT PENURUNAN MUTU BETON PADA KOLOM TERPASANG (Studi

- Kasus : SDN 01 Cikaret Kabupaten Bogor). *Jurnal Rekayasa Sipil ASTONJADRO*, 6(2), 115–129.
- Okky Hendra Hermawan. (2018). Pengaruh Perawatan Pada Kuat Tekan Beton. *Pengaruh Perawatan Pada Kuat Tekan Beton*, 16(N0. 1), 1–7.
- Pangestuti, E. K. (2009). Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Plate sebagai Bahan Komposit Eksternal pada Struktur Balok Beton Bertulang. *Dinamika Teknik Sipil*, 9, 180–188.
- Tjokrodimulyo, K. (1992). *TEKNOLOGI BETON* (Edisi Pert). Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gajah Mada.
- Trian, Y., Sumajouw, D. M. D. J., & Windah, R. S. (2015). PENGARUH KUAT TEKAN TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG. *Jurnal Sipil Statik*, 3(5), 341–350.
- Wibisono, Susastrawan, & Muntafi, Y. (2017). *Penambahan Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Penambahan Plat Baja*.
- Widodo, S. (2008). *MODUL KULIAH Jurusan Pendidikan Teknik Sipil STRUKTUR BETON 1*.

LAMPIRAN



LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
 Gedung E4 Teknik Sipil Kampus Sekaran Gunungpati Semarang
 50229

LAPORAN HASIL PRAKTIKUM

Lampiran Surat/Laporan No. : 1
 Pekerjaan : Pemeriksaan Agregat
 Dikerjakan : Wage Dwi Fitriyandi
 Diperiksa : Fahrudin, A.Md.
 Tanggal Pemeriksaan : 18 Agustus 2022

PEMERIKSAAN ANALISA GRADASI AGREGAT HALUS (PASIR)

| Diameter ayakan (mm) | Berat Saringan (gr) | Berat Saringan + tertahan (gr) | Berat Tertahan (gr) | Persentase berat tertahan (%) | Berat Kumulatif (%) | Berat Kumulatif lolos (%) |
|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------|
| 10 (9,5) | 424.3 | 540.2 | 115.9 | 4.03 | 4.03 | 95.97 |
| 4.75 | 586.4 | 745.0 | 158.6 | 5.51 | 9.54 | 90.46 |
| 2.36 | 316.2 | 840.2 | 524.0 | 18.20 | 27.74 | 72.26 |
| 1.18 | 512.3 | 796.4 | 284.1 | 9.87 | 37.61 | 62.39 |
| 0.6 | 456.3 | 845.4 | 389.1 | 13.52 | 51.13 | 48.87 |
| 0.3 | 451.0 | 872.0 | 421.0 | 14.63 | 65.75 | 34.25 |
| 0.15 | 429.6 | 927.6 | 498.0 | 17.30 | 83.05 | 16.95 |
| PAN | 439.8 | 927.6 | 487.8 | 16.95 | 100.00 | 0.00 |
| Jumlah | | | 2878.5 | 100.00 | 278.85 | |
| Modulus halus butiran (MHB) | | | 2,788 | | | |

LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR JURUSAN TEKNIK SIPIL – UNNES

Menyetujui,
 Kepala Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Ir. Eko Nugroho Julianto, S.Pd., M.T., IPP.
 NIP. 197207021999031002

Semarang, 18 Agustus 2022
 Mengetahui,
 Teknisi Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Fahrudin, A.Md.
 NIP. 89061913051383



LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
 Gedung E4 Teknik Sipil Kampus Sekaran Gunungpati Semarang
 50229

LAPORAN HASIL PRAKTIKUM

Lampiran Surat/Laporan No. : 2

Pekerjaan : Pemeriksaan Agregat

Dikerjakan : Wage Dwi Fitriyandi

Diperiksa : Fahrudin, A.Md.

Tanggal Pemeriksaan : 18 Agustus 2022

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS

| No | Uraian | | Hasil | |
|--|---|------|--------------|-------|
| | | | 1 | 2 |
| 1 | No cawan | | 1 | 2 |
| 2 | Berat sampel jenuh permukaan (SSD) (A) | gram | 367.4 | 237.6 |
| 3 | Berat sampel kering (B) | gram | 357.3 | 231.4 |
| 4 | Berat labu ukur + air (C) | gram | 700.8 | 699 |
| 5 | Berat labu ukur + berat (SSD) + Air (D) | gram | 922.4 | 845.2 |
| 6 | Berat jenis (bulk) $(B / (C + A) - D)$ | | 2.45 | 2.53 |
| 7 | Berat jenis (SSD) $(A / (C + A) - D)$ | | 2.52 | 2.60 |
| 8 | Berat jenis semu $(B / (C + B - D))$ | | 2.63 | 2.72 |
| 9 | Penyerapan $((A - B) / B) \times 100\%$ | | 2.83 | 2.68 |
| Berat jenis rata-rata | | | 2.491 | |
| | Berat Cawan | gram | 287.9 | 292.2 |
| | Berat Cawan + SSD | gram | 655.3 | 529.8 |
| LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR JURUSAN TEKNIK SIPIL - UNNES | | | | |

Semarang, 18 Agustus 2022

Menyetujui,
 Kepala Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Ir. Eko Nugroho Julianto, S.Pd., M.T., IPP.
 NIP. 197207021999031002

Mengetahui,
 Teknisi Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Fahrudin, A.Md.
 NIP. 89061913051383



LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
 Gedung E4 Teknik Sipil Kampus Sekaran Gunungpati Semarang
 50229

LAPORAN HASIL PRAKTIKUM

Lampiran Surat/Laporan No. : 3

Pekerjaan : Pemeriksaan Agregat

Dikerjakan : Wage Dwi Fitriyandi

Diperiksa : Fahrudin, A.Md.

Tanggal Pemeriksaan : 18 Agustus 2022

PEMERIKSAAN BOBOT ISI AGREGAT HALUS (PASIR)

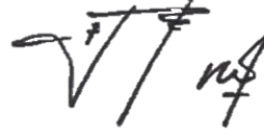
| BOBOT ISI LEPAS | | | | |
|---|--------------------------------------|----------|--------------|--------|
| Nomor | Uraian | | Hasil | |
| 1 | No cawan | | 1 | 2 |
| 2 | Berat container kosong (A) | gram | 231.4 | 231.4 |
| 3 | Berat container + sampel pasir (B) | cm3 | 1649.7 | 1671.8 |
| 4 | Berat Agregat (C) = (B) - (A) | gram | 1418.3 | 1440.4 |
| 5 | Volume container (D) | gram | 1000 | 1000 |
| 6 | Bobot isi lepas (C) / (D) | gram/cm3 | 1.418 | 1.440 |
| Bobot isi rata - rata | | | 1.429 | |
| BOBOT ISI PADAT | | | | |
| Nomor | Uraian | | Hasil | |
| 1 | No cawan | | 1 | 2 |
| 2 | Berat container kosong (A) | gram | 231.4 | 231.4 |
| 3 | Berat container + sampel pasir (B) | cm3 | 1855.3 | 1920.1 |
| 4 | Berat Agregat (C) = (B) - (A) | gram | 1623.9 | 1688.7 |
| 5 | Volume container (D) | gram | 1000 | 1000 |
| 6 | Bobot isi lepas (C) / (D) | gram/cm3 | 1.624 | 1.689 |
| Bobot isi rata - rata | | | 1.656 | |
| LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR, TEKNIK SIPIL - UNNES | | | | |

Menyetujui,
Kepala Laboratorium
Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil



Ir. Eko Nugroho Julianto, S.Pd., M.T., IPP.
NIP. 197207021999031002

Semarang, 18 Agustus 2022
Mengetahui,
Teknisi Laboratorium
Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil



Fahrudin, A.Md.
NIP. 89061913051383



LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
 Gedung E4 Teknik Sipil Kampus Sekaran Gunungpati Semarang
 50229

LAPORAN HASIL PRAKTIKUM

Lampiran Surat/Laporan No. : 4

Pekerjaan : Pemeriksaan Agregat

Dikerjakan : Wage Dwi Fitriyandi

Diperiksa : Fahrudin, A.Md.

Tanggal Pemeriksaan : 18 Agustus 2022

PEMERIKSAAN KADAR LUMPUR DAN LEMPUNG PADA AGREGAT HALUS

| No | Uraian | | Hasil | |
|--|--|------|-------------|--------|
| | | | 1 | 2 |
| 1 | No cawan | | 1 | 2 |
| 2 | Berat kering sebelum dicuci (A) | gram | 857.2 | 788.6 |
| 3 | Berat pasir kering setelah dicuci (B) | gram | 849.4 | 779.7 |
| 4 | Kadar lumpur $((A) - (B) / A) \times 100 \%$ | | 0.91 | 1.13 |
| Kadar lumpur Rata-rata | | | 1.02 | |
| | Berat Cawan | gram | 292.80 | 288.00 |
| * Dari hasil pengujian kadar lumpur pasir di atas, pasir memenuhi syarat yang ditetapkan SK-SNI < 5% | | | | |
| LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR JURUSAN TEKNIK SIPIL - UNNES | | | | |

Semarang, 18 Agustus 2022

Menyetujui,
 Kepala Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Ir. Eko Nugroho Julianto, S.Pd., M.T., IPP.
 NIP. 197207021999031002

Mengetahui,
 Teknisi Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Fahrudin, A.Md.
 NIP. 89061913051383



LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
 Gedung E4 Teknik Sipil Kampus Sekaran Gunungpati Semarang
 50229

LAPORAN HASIL PRAKTIKUM

Lampiran Surat/Laporan No. : 5

Pekerjaan : Pemeriksaan Agregat

Dikerjakan : Wage Dwi Fitriyandi

Diperiksa : Fahrudin, A.Md.

Tanggal Pemeriksaan : 18 Agustus 2022

PEMERIKSAAN ANALISA GRADASI KASAR (KERIKIL)

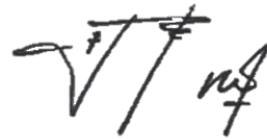
| Diameter ayakan (mm) | Berat Saringan (gr) | Berat Saringan + tertahan (gr) | Berat Tertahan (gr) | Persentase berat tertahan (%) | Berat Kumulatif (%) | Berat Kumulatif lolos (%) |
|--|---------------------|--------------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------|
| 50 | 448.8 | 448.8 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 38.1 | 497.6 | 497.6 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 19 | 425.2 | 982.8 | 557.6 | 20.24 | 20.24 | 79.76 |
| 9.5 | 424.3 | 2086.6 | 1662.3 | 60.35 | 80.60 | 19.40 |
| 4.75 | 586.4 | 820.8 | 234.4 | 8.51 | 89.11 | 10.89 |
| 2.36 | 316.2 | 557.4 | 241.2 | 8.76 | 97.87 | 2.13 |
| 1.18 | 512.3 | 512.3 | 0.0 | 0.00 | 97.87 | 2.13 |
| 0.6 | 456.3 | 456.3 | 0.0 | 0.00 | 97.87 | 2.13 |
| 0.3 | 451.0 | 451.0 | 0.0 | 0.00 | 97.87 | 2.13 |
| 0.15 | 429.6 | 429.6 | 0.0 | 0.00 | 97.87 | 2.13 |
| PAN | 439.8 | 498.6 | 58.8 | 2.13 | | |
| Jumlah | | | 2754.3 | 100.00 | 679.28 | |
| Modulus halus butiran (MHB) | | | 6,79 | | | |
| LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR JURUSAN TEKNIK SIPIL | | | | | | |

Menyetujui,
Kepala Laboratorium
Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil



Ir. Eko Nugroho Julianto, S.Pd., M.T., IPP.
NIP. 197207021999031002

Semarang, 18 Agustus 2022
Mengetahui,
Teknisi Laboratorium
Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil



Fahrudin, A.Md.
NIP. 89061913051383



LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
 Gedung E4 Teknik Sipil Kampus Sekaran Gunungpati Semarang
 50229

LAPORAN HASIL PRAKTIKUM

Lampiran Surat/Laporan No. : 6

Pekerjaan : Pemeriksaan Agregat

Dikerjakan : Wage Dwi Fitriyandi

Diperiksa : Fahrudin, A.Md.

Tanggal Pemeriksaan : 18 Agustus 2022

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR

| No | Uraian | | Hasil | |
|--|--|------|--------------|--------|
| | | | 1 | 2 |
| 1 | No cawan | | 1 | 2 |
| 2 | Berat sampel jenuh permukaan (SSD) (A) | gram | 3559.2 | 3221.0 |
| 3 | Berat sampel dalam air (B) | gram | 2224.8 | 2007.9 |
| 4 | Berat sampel kering (C) | gram | 3485.2 | 3157.8 |
| 5 | Berat jenis (bulk) (C/ (A-B)) | | 2.61 | 2.60 |
| 6 | Berat jenis (SSD) (A/ (A-B)) | | 2.67 | 2.66 |
| 7 | Berat jenis semu (C/ (C-B)) | | 2.77 | 2.75 |
| 8 | Penyerapan ((A-C) / C) x 100% | | 2.12 | 2.00 |
| Berat jenis rata-rata | | | 2.607 | |
| | Berat Cawan | gram | 234.4 | 255.9 |
| | Berat Cawan + SSD | gram | 3793.6 | 3476.9 |
| LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR JURUSAN TEKNIK SIPIL - UNNES | | | | |

Menyetujui,
 Kepala Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Ir. Eko Nugroho Julianto, S.Pd., M.T., IPP.
 NIP. 197207021999031002

Semarang, 18 Agustus 2022

Mengetahui,
 Teknisi Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Fahrudin, A.Md.
 NIP. 89061913051383



LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
 Gedung E4 Teknik Sipil Kampus Sekaran Gunungpati Semarang
 50229

LAPORAN HASIL PRAKTIKUM

Lampiran Surat/Laporan No. : 7

Pekerjaan : Pemeriksaan Agregat

Dikerjakan : Wage Dwi Fitriyandi

Diperiksa : Fahrudin, A.Md.

Tanggal Pemeriksaan : 18 Agustus 2022

PEMERIKSAAN BOBOT ISI AGREGAT KASAR (KERIKIL)

| BOBOT ISI LEPAS | | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------|--------|
| Nomor | Uraian | | Hasil | |
| | | | 1 | 2 |
| 1 | No cawan | | | |
| 2 | Berat container kosong (A) | gram | 231.4 | 231.4 |
| 3 | Berat container + sampel pasir (B) | cm ³ | 1540.9 | 1555.7 |
| 4 | Berat Agregat (C) = (B) - (A) | gram | 1309.5 | 1324.3 |
| 5 | Volume container (D) | gram | 1000 | 1000 |
| 6 | Bobot isi lepas (C) / (D) | gram/cm ³ | 1.310 | 1.324 |
| Bobot isi rata - rata | | | 1.317 | |
| BOBOT ISI PADAT | | | | |
| Nomor | Uraian | | Hasil | |
| | | | 1 | 2 |
| 1 | No cawan | | | |
| 2 | Berat container kosong (A) | gram | 231.4 | 231.4 |
| 3 | Berat container + sampel pasir (B) | cm ³ | 1739.9 | 1747.2 |
| 4 | Berat Agregat (C) = (B) - (A) | gram | 1508.5 | 1515.8 |
| 5 | Volume container (D) | gram | 1000 | 1000 |
| 6 | Bobot isi lepas (C) / (D) | gram/cm ³ | 1.509 | 1.516 |
| Bobot isi rata - rata | | | 1.512 | |

Menyetujui,
 Kepala Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Ir. Eko Nugroho Julianto, S.Pd., M.T., IPP.
 NIP. 197207021999031002

Semarang, 18 Agustus 2022

Mengetahui,
 Teknisi Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Fahrudin, A.Md.
 NIP. 89061913051383



LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
 Gedung E4 Teknik Sipil Kampus Sekaran Gunungpati Semarang
 50229

LAPORAN HASIL PRAKTIKUM

Lampiran Surat/Laporan No. : 8
 Pekerjaan : Pemeriksaan Agregat
 Dikerjakan : Wage Dwi Fitriyandi
 Diperiksa : Fahrudin, A.Md.
 Tanggal Pemeriksaan : 18 Agustus 2022

PEMERIKSAAN KADAR LUMPUR DAN LEMPUNG PADA AGREGAT KASAR

| No | Uraian | | Hasil | |
|--|--|------|-------------|--------|
| | | | 1 | 2 |
| 1 | No cawan | | 1 | 2 |
| 2 | Berat kering sebelum dicuci (A) | gram | 1146.4 | 1251.3 |
| 3 | Berat pasir kering setelah dicuci (B) | gram | 1136.4 | 1238.3 |
| 4 | Kadar lumpur ((A) - (B) / A) x 100 % | | 0.87 | 1.04 |
| Kadar lumpur Rata-rata | | | 0.96 | |
| | Berat Cawan | gram | 124.40 | 133.80 |
| * Dari hasil pengujian kadar lumpur kerikil di atas, kerikil memenuhi syarat yang ditetapkan SK-SNI < 1% | | | | |
| LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR JURUSAN TEKNIK SIPIL - UNNES | | | | |

Semarang, 18 Agustus 2022

Menyetujui,
 Kepala Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Ir. Eko Nugroho Julianto, S.Pd., M.T., IPP.
 NIP. 197207021999031002

Mengetahui,
 Teknisi Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Fahrudin, A.Md.
 NIP. 89061913051383



LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
 Gedung E4 Teknik Sipil Kampus Sekaran Gunungpati Semarang
 50229

LAPORAN HASIL PRAKTIKUM

Lampiran Surat/Laporan No. : 9

Pekerjaan : Pemeriksaan Agregat

Dikerjakan : Wage Dwi Fitriyandi

Diperiksa : Fahrudin, A.Md.

Tanggal Pemeriksaan : 18 Agustus 2022

PEMERIKSAAN KEAUSAN PADA AGREGAT KASAR

| No | Uraian | | Hasil | |
|--|---|------|--------------|--------|
| | | | 1 | 2 |
| 1 | No Cawan | | 1 | 2 |
| 2 | Berat sampel sebelum diuji (A) | gram | 5003.1 | 5004.3 |
| 3 | Berat sampel setelah diuji (B) | gram | 4403.1 | 4499.9 |
| 4 | Persentase keausan $((A) - (B)) / A \times 100\%$ | gram | 11.99 | 10.08 |
| Kadar air rata-rata | | | 11.04 | |
| LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR JURUSAN TEKNIK SIPIL - UNNES | | | | |

Semarang, 18 Agustus 2022

Menyetujui,
 Kepala Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Ir. Eko Nugroho Julianto, S.Pd., M.T., IPP.
 NIP. 197207021999031002

Mengetahui,
 Teknisi Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Fahrudin, A.Md.
 NIP. 89061913051383



LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
 Gedung E4 Teknik Sipil Kampus Sekaran Gunungpati Semarang
 50229

LAPORAN HASIL PRAKTIKUM

Lampiran Surat/Laporan No. : 10

Pekerjaan : Pemeriksaan Semen
 Dikerjakan : Wage Dwi Fitriyandi
 Diperiksa : Fahrudin, A.Md.
 Tanggal Pemeriksaan : 18 Agustus 2022

PEMERIKSAAN WAKTU PENGIKAT SEMEN

| Kode sampel uji | Konsistensi Normal (%) | Uji Ikat Awal Semen (menit) | Uji Ikat Akhir Semen (menit) |
|--|------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| A | 51.7 | 45 | 210 |
| B | | 60 | 225 |
| C | | 45 | 225 |
| Rata – rata Uji Ikat Semen | | 50 | 220 |
| LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR JURUSAN TEKNIK SIPIL – UNNES | | | |

Semarang, 18 Agustus 2022

Menyetujui,
 Kepala Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Ir. Eko Nugroho Julianto, S.Pd., M.T., IPP.
 NIP. 197207021999031002

Mengetahui,
 Teknisi Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Fahrudin, A.Md.
 NIP. 89061913051383



LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
 Gedung E4 Teknik Sipil Kampus Sekaran Gunungpati Semarang
 50229

LAPORAN HASIL PRAKTIKUM

Lampiran Surat/Laporan No. : 11
 Pekerjaan : Pemeriksaan Beton
 Dikerjakan : Wage Dwi Fitriyandi
 Diperiksa : Fahrudin, A.Md.
 Tanggal Pemeriksaan : 18 Agustus 2022

PEMERIKSAAN KUAT TEKAN BETON

| Kode sampel uji | Dimensi Benda Uji (cm) | Berat Benda Uji (kg) | Kuat Tekan Beton (Mpa) |
|--|------------------------|----------------------|------------------------|
| A | 15 x 30 | 11,71 | 12.55 |
| B | 15 x 30 | 11,64 | 12.16 |
| C | 15 x 30 | 11,99 | 10.29 |
| Rata - rata | | | 11.6667 |
| LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR JURUSAN TEKNIK SIPIL - UNNES | | | |

Semarang, 18 Agustus 2022

Menyetujui,
 Kepala Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Ir. Eko Nugroho Julianto, S.Pd., M.T., IPP.
 NIP. 197207021999031002

Mengetahui,
 Teknisi Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Fahrudin, A.Md.
 NIP. 89061913051383



LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
 Gedung E4 Teknik Sipil Kampus Sekaran Gunungpati Semarang
 50229

LAPORAN HASIL PRAKTIKUM

Lampiran Surat/Laporan No. : 12

Pekerjaan : Pemeriksaan Plat Baja

Dikerjakan : Wage Dwi Fitriyandi

Diperiksa : Fahrudin, A.Md.

Tanggal Pemeriksaan : 18 Agustus 2022

PEMERIKSAAN KUAT TARIK PLAT BAJA

| Kode sampel uji | Berat Total per lembar (kg) | Berat Sampel (kg) | Tebal Plat (mm) | Fy (Mpa) | Fu (Mpa) |
|-----------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|----------|----------|
| A | 42,00 | 0,485 | 1,8 | 175 | 277 |
| B | 46,70 | 0,539 | 2,0 | 349 | 387 |

LABORATORIUM ILMU BAHAN DAN STRUKTUR JURUSAN TEKNIK SIPIL - UNNES

Semarang, 18 Agustus 2022

Menyetujui,
 Kepala Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Ir. Eko Nugroho Julianto, S.Pd., M.T., IPP.
 NIP. 197207021999031002

Mengetahui,
 Teknisi Laboratorium
 Lab. Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Fahrudin, A.Md.
 NIP. 89061913051383

DOKUMENTASI







