

**TUGAS AKHIR**

**PERBANDINGAN EFEKTIVITAS ANTARA  
SAMBUNGAN LEWATAN DENGAN SAMBUNGAN  
MEKANIS JENIS *COUPLER* PADA BALOK  
(*COMPARATIVE OF EFFECTIVITY BETWEEN LAP  
SPlice AND MECHANICAL CONNECTION COUPLER  
IN BEAMS*)**



**Rizky Wahyu Nugraha**

**19511233**

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

**2023**

## TUGAS AKHIR

# PERBANDINGAN EFEKTIVITAS ANTARA SAMBUNGAN LEWATAN DENGAN SAMBUNGAN MEKANIS JENIS *COUPLER* PADA BALOK (*COMPARATIVE OF EFFECTIVITY BETWEEN LAP SPLICE AND MECHANICAL CONNECTION COUPLER IN BEAMS*)

Disusun Oleh:

**Rizky Wahyu Nugraha**  
**19511233**

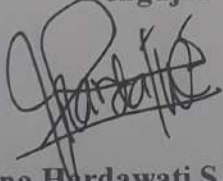
Telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 29 Agustus 2023  
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

  
**Jafar S.T., MURP., M.T.**  
NIP : 185111305

Penguji I

  
**Astriana Hardawati S.T., M.Eng.**  
NIP : 165111301

Penguji II

  
**Anggit Mas Arifudin S.T., M.T.**  
NIP : 185111304

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



  
**Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP : 095110101

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 6 Sept 2023



Rizky Wahyu Nugraha  
19511233

## KATA PENGANTAR

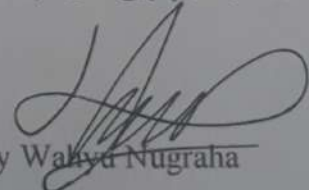
Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Perbandingan Efektivitas antara Sambungan Lewatan dengan Sambungan Mekanis Jenis Coupler pada Balok*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, banyak rintangan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, dan doa baik dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Jafar S.T., M.T., MURP. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis selama Tugas Akhir ini.
2. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing akademik.
3. Ibu Yunalia Muntafi S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
4. Bapak Ayi Wahyudin dan Ibu Dedah Suaedah selaku kedua orang tua dan keluarga yang selalu mendukung serta mendoakan selama hidup penulis.
5. Sahabat Teknik Sipil angkatan 2019 dan sahabat-sahabat dari jurusan lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Akhirnya, penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Yogyakarta, 6 Sept 2023



Rizky Wahyu Nugraha

19511233

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Penelitian.....	4
1.6 Lokasi Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.1.1 Studi Perbandingan Sambungan Tulangan Kolom dengan Metode Lap Splice dan Metode Mechanical Splice pada Proyek Indonesia.....	5
2.1.2 Study on the Bending and Joint Performance of Reinforced Concrete Beams Using High-Strength Rebars.....	6
2.1.3 Kajian Sambungan Lewatan Jenis Contact Lap Splice pada Beton Bertulang.....	6
2.1.4 Panjang Lewatan Sambungan Lewatan pada Balok Beton.....	7
2.1.5 Perbandingan Performa Sambungan Lewatan dan Sambungan Mekanis (Coupler) pada Perilaku Lentur Balok Bertulang.....	7
2.2 Perbedaan Penelitian.....	8

2.2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu .....	8
2.2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian ini .....	13
BAB III LANDASAN TEORI .....	14
3.1 Beton .....	14
3.2 Perencanaan Campuran Beton ( <i>Mix Design</i> ) .....	14
3.3 Pengujian Kuat Desak Beton .....	19
3.4 Baja Tulangan .....	20
3.5 Pengujian Baja .....	20
3.6 Beton Bertulang .....	22
3.7 Sambungan Tulangan .....	24
3.7.1 Sambungan Lewatan ( <i>Lap Splice Connection</i> ) .....	24
3.7.2 Sambungan Mekanis <i>Coupler</i> ( <i>Coupler Mechanical Connection</i> ) .....	27
3.8 Daktilitas .....	33
3.8.1 Konsep Daktilitas .....	33
3.8.2 Jenis Daktilitas .....	34
3.8.3 Tingkat Daktilitas .....	36
3.9 Keruntuhan Balok .....	37
3.9.1 Jenis Keruntuhan .....	37
3.9.2 Pola Retak Balok .....	38
3.10 Rencana Anggaran Biaya (RAB) .....	40
BAB IV METODE PEMBAHASAN .....	41
4.1 Tinjauan Umum .....	41
4.2 Variabel Penelitian .....	41
4.3 Metode Pengumpulan Data .....	42
4.4 Bahan yang Digunakan .....	42
4.5 Peralatan Penelitian .....	43
4.6 Tahapan Penelitian .....	43
4.7 Bagan Alir Penelitian .....	51
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN .....	53
5.1 Pengujian Material .....	53
5.1.1 Pengujian Agregat Kasar .....	53

5.1.2 Pengujian Agregat Halus .....	56
5.1.3 Pengujian Baja Tulangan .....	59
5.2 Perhitungan Proporsi Campuran Beton .....	64
5.3 Perhitungan Data Mix Design .....	70
5.4 Perhitungan Sambungan Tulangan .....	72
5.4.1 Sambungan Tulangan Lewatan .....	72
5.4.2 Sambungan Tulangan Coupler .....	73
5.5 Perhitungan Momen Nominal ( $M_n$ ) Teoritis .....	73
5.6 Pengujian Kuat Lentur Balok .....	76
5.6.1 Mekanisme Pembebanan .....	76
5.6.2 Perhitungan Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok .....	77
5.7 Perbandingan di antara Sampel Uji Balok .....	81
5.7.1 Respon terhadap Beban serta Lendutan .....	81
5.7.2 Perbandingan Efektivitas Kedua Sampel Balok .....	87
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....	91
6.1 Kesimpulan .....	92
6.2 Saran .....	93
DAFTAR PUSTAKA .....	94

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan antara Penelitian Terdahulu	9
Tabel 3.1	Faktor Pengali Deviasi Standar	15
Tabel 3.2	Perkiraan Kekuatan Tekan	15
Tabel 3.3	Perkiraan Kadar Air Bebas	17
Tabel 3.4	Syarat Minimum Jumlah Semen dan Maksimum FAS	18
Tabel 3.5	Panjang Sambungan Lewatan Batang Ulir dan Kawat Ulir Dalam Kondisi Tarik	26
Tabel 3.6	Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir Dalam Kondisi Tarik Berdasarkan pada Diameter	27
Tabel 3.7	Nilai Daktilitas dan Faktor Reduksi setiap Tingkat	36
Tabel 5.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	54
Tabel 5.2	Pengujian Modulus Halus Butir	55
Tabel 5.3	Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar	56
Tabel 5.4	Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar	57
Tabel 5.5	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	57
Tabel 5.6	Pengujian Modulus Halus Butir	58
Tabel 5.7	Pengujian Kandungan Lumpur	59
Tabel 5.8	Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus	60
Tabel 5.9	Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus	60
Tabel 5.10	Rekapitulasi Hasil Pengujian Baja Tulangan	65
Tabel 5.11	Rekapitulasi Perhitungan Hasil Pengujian	72
Tabel 5.12	Rekapitulasi Perhitungan Mn Teoritis	77
Tabel 5.13	Rekapitulasi Mn Pengujian	81
Tabel 5.14	Rekapitulasi Rasio Mn Teoritis dengan Mn Pengujian	82
Tabel 5.15	Rekapitulasi Momen Nominal dan Lendutan Maksimum Kedua Sampel Uji Balok	87



Tabel 5.16	Detail Perhitungan Biaya Sampel Sambungan Lewatan	89
Tabel 5.17	Detail Perhitungan Biaya Sampel Sambungan Coupler	90

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dan FAS	16
Gambar 3.2	Grafik Persentase Agregat Halus	18
Gambar 3.3	Grafik Berat Isi Beton	19
Gambar 3.4	Kurva Hubungan Tegangan ( $f$ ) vs Regangan ( $\epsilon$ )	21
Gambar 3.5	Bagian Kurva Tegangan-Regangan yang Diperbesar	21
Gambar 3.6	Diagram Regangan Tegangan Balok Beton Bertulang Tunggal	23
Gambar 3.7	Diagram Regangan Tegangan Balok Beton Bertulang Rangkap	23
Gambar 3.8	<i>Solid-Type Steel Coupling Sleeve</i>	28
Gambar 3.9	<i>Stell-Filled Coupling Sleeve</i>	29
Gambar 3.10	<i>Wedge-Locking Coupling Sleeve</i>	29
Gambar 3.11	<i>Steel Coupling Sleeve with Wedge</i>	30
Gambar 3.12	<i>Bar Splice Double Barrel</i>	31
Gambar 3.13	<i>Taper-Threaded Steel Coupler</i>	32
Gambar 3.14	<i>Coupler for Thread-Deformed Reinforcing Bars</i>	32
Gambar 3.15	Hubungan antara Beban dengan Lendutan pada Beton	34
Gambar 3.16	Pola Retak Lentur Balok	39
Gambar 3.17	Pola Retak Geser Balok	39
Gambar 3.18	Pola Retak Geser Lentur	40
Gambar 3.19	Pola Retak Puntir	40
Gambar 3.20	Pola Retak Lekatan	41
Gambar 4.1	Tampak Samping dan Depan <i>Coupler</i>	46
Gambar 4.2	Tampak Samping <i>Coupler</i> Tersambung dengan Tulangan	46
Gambar 4.3	Desain Rencana Balok Sambungan Lewatan	48

Gambar 4.4	Desain Rencana Balok Sambungan <i>Coupler</i>	48
Gambar 4.5	Beban Terpusat Ganda ( <i>two point loads</i> ) Pada Benda Uji Balok	52
Gambar 4.6	Bagan Alir Penelitian	53
Gambar 5.1	Grafik Analisis Saringan Agregat Kasar	56
Gambar 5.2	Grafik Analisis Saringan Agregat Halus	59
Gambar 5.3	Kerusakan Baja Tulangan tanpa Sambungan	61
Gambar 5.4	Grafik Hubungan Tegangan Vs Regangan Baja Tulangan tanpa Sambungan	62
Gambar 5.5	Kerusakan Baja Tulangan dengan Sambungan	63
Gambar 5.6	Grafik Hubungan Tegangan Vs Regangan Baja Tulangan dengan Sambungan	64
Gambar 5.7	Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan FAS	66
Gambar 5.8	Grafik Persentase Agregat Halus	68
Gambar 5.9	Grafik Berat Isi Beton Basah	69
Gambar 5.10	Pengujian Kuat Tekan Silinder	71
Gambar 5.11	Detail Mekanisme Pembebanan	78
Gambar 5.12	Proses Pengujian Kuat Lentur	78
Gambar 5.13	Pemodelan Sampel Uji Balok	79
Gambar 5.14	Bending Moment Diagram (BMD)	81
Gambar 5.15	Grafik Beban vs Lendutan Sampel Uji Balok Lewatan	82
Gambar 5.16	Kerusakan Sampel Uji Balok Lewatan	83
Gambar 5.17	Sketch Kerusakan Sampel Uji Balok Lewatan	84
Gambar 5.18	Kerusakan Sampel Uji Balok Lewatan Zaneta (2022)	85
Gambar 5.19	Grafik Beban vs Lendutan Sampel Uji Balok Coupler	86
Gambar 5.20	Kerusakan Sampel Uji Balok Coupler	86
Gambar 5.21	Sketch Kerusakan Sampel Uji Balok Lewatan	87
Gambar 5.22	Kerusakan Sampel Uji Balok Coupler Zaneta (2022)	87

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Hasil Uji Tarik	95
Lampiran 2	Foto Dokumentasi	102

## ABSTRAK

Di dalam SNI 2052:2017, dijelaskan bahwa panjang dari tulangan beton ditetapkan dengan panjang maksimal 12 m. Ukuran standar panjang maksimal baja tulangan ini ditetapkan dengan tujuan kemudahan transportasi dan penyimpanannya. Dengan adanya ketetapan batas panjang baja tulangan, membuat kebutuhan akan panjang baja tulangan yang tepat di proyek-proyek konstruksi terkadang tidak tercukupi. Dalam mengatasi masalah ini, diperlukan sambungan tulangan dengan jenis penyambungan yang efektif serta dengan panjang penyambungan yang bisa menyalurkan beban atau tegangan yang dialami oleh satu tulangan ke tulangan yang lain

Berdasarkan permasalahan yang ada, penulis tertarik untuk meneliti perbandingan di antara dua jenis sambungan yang tersedia saat ini, yaitu jenis sambungan lewatan dan jenis sambungan mekanis. Dalam penelitian ini, perhitungan nilai panjang total penyaluran sambungan tulangan lewatan menggunakan SNI 2847:2019 sebagai acuannya. Sementara itu, desain sambungan mekanis yang dipakai merupakan jenis *threaded coupler*. Penelitian ini membandingkan performa kedua sambungan tersebut dalam aspek momen nominal pengujian kuat lenturnya, lendutan maksimumnya, dan biaya yang perlu dikeluarkan dalam pemakaiannya.

Penelitian ini menghasilkan nilai momen nominal kuat lentur sambungan lewatan dan sambungan mekanis *coupler* berturut-turut sebesar 33,546 kNm dan 24,246 kNm, nilai lendutan maksimum sambungan lewatan dan sambungan mekanis *coupler* berturut-turut sebesar 69,37 mm dan 8,689 mm, dan biaya yang perlu dikeluarkan untuk sambungan lewatan dan sambungan mekanis *coupler* sebesar Rp. 33.723,00 dan Rp. 88.000,00. Berdasarkan hasil penelitian, ditarik kesimpulan bahwa performa sambungan lewatan lebih baik dibandingkan dengan sambungan *coupler*, baik dalam aspek nominal pengujian kuat lenturnya, lendutan maksimumnya, dan biaya yang perlu dikeluarkan dalam pemakaiannya.

**Kata Kunci:** Balok beton bertulang, sambungan lewatan, sambungan mekanis.

## ABSTRACT

*In SNI 2052:2017, it is explained that the length of concrete reinforcement is set at a maximum length of 12 m. The standard size of the maximum length of reinforcing bar is determined with the aim of ease of transportation and storage. With the determination of the length limit of reinforcing bar, the need for the proper length of reinforcing bar in construction projects is sometimes not fulfilled. In overcoming this problem, it is necessary to have a reinforcement connection with an effective connection type and with a connection length that can transmit the load or stress experienced by one reinforcement bar to another.*

*Based on the existing problems, the author is interested in examining the comparison between the two types of connections currently available, namely the type of overlap joint and the type of mechanical joint. In this study, the calculation of the value of the total length for distribution of overlap reinforcement joints uses SNI 2847:2019 as a reference. Meanwhile, the mechanical joint design used is a type of threaded coupler. This study compares the performance of the two joints in terms of the nominal moment aspects of their flexural strength testing, their maximum deflection, and the costs that need to be incurred in their use.*

*This research resulted in nominal bending moment values of overlap joints and mechanical coupler joints of 33,546 kNm and 24,246 kNm, maximum deflection values of lap joints and mechanical coupler joints of 69,37 mm and 8,689 mm respectively, and the costs that need to be incurred for overlap joints and coupler mechanical connections of Rp. 33,723.00 and Rp. 88,000.00. Based on the results of the study, it was concluded that the performance of the overlap joint is better than the coupler joint, both in the nominal aspect of the flexural strength test, the maximum deflection, and the costs that need to be incurred in its use.*

**Keywords:** *Reinforced concrete beam, overlap joint, mechanical joint.*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Didasarkan pada Rusdianto serta Septiropa (2005), dari beberapa jenis elemen konstruksi, yang paling sering ditemui di dunia konstruksi adalah beton bertulang, selain baja dan kayu. SNI 2847-2013 menjelaskan bahwa beton atau *concrete* berupa sebuah kombinasi yang tercipta dari campuran semen hidrolis seperti *portland cement* ataupun *hydraulic cement* lain, agregat yang mencakup agregat kasar (batu *split* dan halus (pasir), air, dan ataupun tidak dengan bahan tambahan yang selanjutnya dibentuk menjadi sebuah masa padat. Lalu, berdasarkan SNI 2052:2017, baja tulangan yang digunakan untuk beton ialah sebuah baja yang terpadu dari karbon atau baja campuran lain yang umumnya memiliki bentuk batangan dengan penampang melingkar serta memiliki permukaan polos untuk BjTP dan ulir untuk BjTS.

Di dalam SNI 2052:2017, dijelaskan bahwa panjang dari tulangan beton ditetapkan dengan panjang maksimal 12 m. Ukuran standar panjang maksimal baja tulangan ini ditetapkan dengan tujuan kemudahan transportasi dan penyimpanannya. Dengan adanya ketetapan batas panjang baja tulangan, membuat kebutuhan akan panjang baja tulangan yang tepat di proyek-proyek konstruksi terkadang tidak tercukupi. Dalam mengatasi masalah ini, diperlukan sambungan tulangan dengan jenis penyambungan yang efektif serta dengan panjang penyambungan yang bisa menyalurkan beban atau tegangan yang dialami oleh satu tulangan ke tulangan yang lain.

Menurut Lancelot (1985), terdapat tiga cara dalam pekerjaan sambungan tulangan yang dapat dilakukan, yaitu sambungan tulangan yang disambungkan dengan lewatan (*lap splice*), sambungan tulangan yang disambung dengan las (*wielded splice*), dan sambungan tulangan yang disambung dengan sambungan mekanis (*mechanical connection*). Ketiga metode penyambungan tersebut tentu memiliki perbedaan, seperti performa sambungan, dan biaya yang harus

dikeluarkan yang tergantung kepada metode yang digunakan. Perbedaan di antara metode sambungan dapat mempengaruhi performa dari struktur yang akan dibangun, dan biaya/harga yang harus dikeluarkan. Maka dari itu, diperlukan sebuah referensi atau acuan dalam pemilihan salah satu atau semua metode sambungan dalam suatu proyek konstruksi agar proyek bisa berjalan dengan baik.

Menurut ACI 439.3R-91, setidaknya terdapat tiga tipe dasar dari sambungan mekanis. Yaitu: 1). Sambungan tegangan tekan ; 2). Sambungan tegangan tarik ; 3). Sambungan tegangan tekan-tarik. Perbedaan dari ketiga tipe dasar sambungan mekanis tersebut berada pada fungsinya. Sambungan mekanis tegangan tekan didesain dengan fungsi menahan tegangan tekan, sambungan mekanis tegangan tarik didesain dengan fungsi menahan tegangan tarik, dan sambungan mekanis tegangan tekan-tarik didesain dengan fungsi menahan tegangan tekan dan tarik. Sambungan mekanis yang diimplementasikan dalam penelitian ini adalah sambungan mekanis tegangan tekan-tarik. Salah satu tipe dari sambungan mekanis tegangan tekan-tarik ini adalah *threaded rebar coupler*. Berdasarkan ACI 439.35-91, *coupler* merupakan sebuah alat yang memiliki pola ulir di bagian dalamnya, digunakan untuk menyambungkan satu tulangan dengan tulangan lain yang bertujuan untuk menyalurkan beban antar tulangan. *Threaded rebar coupler* ini digunakan oleh Zaneta Ambarwati dalam penelitiannya.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini akan melakukan pengujian beton bertulang yang menggunakan sambungan dengan penyambungan lewatan dan penyambungan mekanis tegangan tekan-tarik dengan tipe *threaded rebar coupler*. Penelitian ini akan berfokus kepada meneliti efektivitas dari kedua sambungan tersebut yang mencakup pada performa dan biaya yang harus dikeluarkan. Penelitian ini dilaksanakan dengan harapan dapat menjadi referensi atau acuan bagi para perancang serta kontraktor dalam menerapkan sambungan tulangan di suatu struktur.



## 1.2 Rumusan Masalah

Didasari oleh latar belakang, kemudian dibentuk rumusan masalah berikut.

1. Bagaimana perbandingan dari nilai momen nominal ( $M_n$ ) yang diperoleh oleh kedua sambungan sesudah pengujian kuat lentur?
2. Bagaimana perbandingan dari nilai lendutan yang diperoleh oleh kedua sambungan setelah pengujian kuat lentur?
3. Berapa besar biaya yang diperlukan untuk membuat balok bertulang yang menggunakan sambungan tulangan lewatan dan sambungan tulangan mekanis?
4. Bagaimana perbandingan efektivitas dari metode sambungan lewatan dan mekanis dari segi performa dan biaya?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Didasari dengan rumusan masalah, kemudian dibentuk tujuan penelitian seperti ini.

1. Mengetahui perbandingan dari nilai momen nominal ( $M_n$ ) yang diperoleh oleh kedua sambungan sesudah pengujian kuat lentur.
2. Mengetahui perbandingan dari nilai lendutan yang diperoleh oleh kedua sambungan setelah pengujian kuat lentur.
3. Mengetahui besar biaya yang diperlukan untuk membuat balok bertulang yang menggunakan sambungan tulangan lewatan dan sambungan tulangan mekanis.
4. Mengetahui perbandingan efektivitas dari metode sambungan lewatan dan mekanis dari segi performa dan biaya/harga.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dikerjakan dengan tujuan mampu memberi kemaslahatan kepada perkembangan dunia konstruksi. Beberapa manfaat yang diharapkan tersebut disebutkan seperti berikut ini.

1. Sebagai referensi dan acuan dalam penggunaan sambungan lewatan dan mekanis jenis *coupler* dalam sebuah struktur.
2. Sebagai bahan pertimbangan bagi perancang dari segi harga dalam penggunaan sambungan lewatan dan mekanis jenis *coupler* dalam sebuah proyek.

### 1.5 Batasan Penelitian

Beberapa batasan lingkup penelitian bisa dilihat antara lain:

1. Baja tulangan dari kedua tipe sambungan menggunakan baja tulangan dengan profil, diameter, dan konfigurasi tulangan yang sama, yaitu masing-masing menggunakan tulangan polos dengan diameter 10 mm berjumlah dua (2P10) untuk tulangan daerah tekan dan tulangan ulir berdiameter 13 mm berjumlah dua (2D13) untuk tulangan daerah tarik, serta sengkang P8-150 mm.
2. Sifat material beton dari kedua tipe sambungan menggunakan sifat material beton dengan kualitas beton yang sama, yaitu 25 MPa untuk  $f'_c$  beton dan 420 MPa untuk tegangan leleh baja tulangan.
3. Pembuatan sampel uji balok berjumlah satu untuk sambungan tulangan lewatan dan satu untuk sambungan tulangan *coupler* dengan dimensi 150 x 300 x 2000 mm.
4. Pembuatan sampel uji silinder berjumlah tiga untuk sambungan tulangan lewatan dan tiga untuk sambungan tulangan *coupler* dengan diameter 150 mm serta memiliki tinggi 300 mm.
5. Pengujian pada sampel uji, baik sampel uji silinder maupun sampel uji balok akan dikerjakan disaat umur 14 hari dengan bantuan bahan tambah damdex sebesar 2% total berat semen.
6. Penelitian ini tidak meneliti tentang pengaruh bahan tambah damdex kepada campuran beton. Bahan tambah damdex hanya digunakan sebagai percepatan pengerasan campuran beton.

### 1.6 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi dan Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Penelitian mengenai perbandingan antara sambungan baja tulangan lewatan dan mekanis sudah banyak dilakukan. Berikut merupakan referensi dari penelitian yang lebih dahulu, yang dapat dipakai sebagai acuan, referensi dan pegangan untuk penelitian ini.

##### **2.1.1 Studi Perbandingan Sambungan Tulangan Kolom dengan Metode Lap Splice dan Metode Mechanical Splice pada Proyek Indonesia**

Studi ini dilakukan oleh Kevin Aurick dan Arianti Sutandi (2018) dari Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tarumanegara. Penelitian dikerjakan dengan tujuana mendapatkan perbandingan antara sambungan tulangan lewatan dengan sambungan tulangan mekanis dan sebagai studi pengimplementasian tentang sambungan tulangan metode sambungan tulangan mekanis. Studi ini dilakukan dengan survei lapangan, wawancara, dan studi literatur dari buku dan jurnal. Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Bahwa durasi pekerjaan yang dibutuhkan oleh sambungan yang menggunakan metode sambungan mekanis lebih lama, jika dibandingkan dengan durasi pekerjaan yang dibutuhkan oleh sambungan yang menggunakan metode sambungan lewatan.
2. Bahwa alat yang dibutuhkan oleh sambungan yang menggunakan metode sambungan mekanis lebih banyak, jika dibandingkan dengan alat yang dibutuhkan oleh sambungan yang menggunakan metode sambungan lewatan.
3. Harga yang harus dibayar oleh sambungan yang menggunakan metode sambungan mekanis lebih tinggi, jika dibandingkan dengan harga yang wajib dibayar oleh sambungan yang menggunakan metode sambungan lewatan.

### 2.1.2 Study on the Bending and Joint Performance of Reinforced Concrete Beams Using High-Strength Rebars.

Penelitian ini dilakukan oleh Seoungho Cho, Myungkwan Lim, dan Changhee Lee (2021) dari Universitas Seoul, Universitas Songwon, dan Universitas Puikyong. Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan mengetahui performa sambungan dari beton bertulang menggunakan mutu material sambungan tinggi. Studi ini dilakukan dengan metode eksperimen. Kesimpulan yang dibentuk dari penelitian ini antara lain:

1. Kedua sampel uji balok lewatan, yaitu 600D32 dan 670D30 yang didesain menggunakan formula desain standar memiliki momen nominal pengujian yang lebih tinggi dari momen nominal teoretis.
2. Beban tertinggi yang dapat diserap oleh kedua sampel uji balok *coupler*, yaitu 600D32C dan 670D30C lebih besar bila dibandingkan dengan beban tertinggi yang dapat diserap oleh kedua sampel uji balok lewatan. Hal ini dipercaya disebabkan oleh tidak dipakainya tulangan geser pada bagian lapangan.
3. Ketika dibandingkan antara kedua tipe sambungan mekanis, yaitu tipe *coupler* dan tipe *lock nut coupler*, tipe sambungan *lock nut coupler* memiliki beban terbesar yang dapat ditahan lebih besar dibandingkan tipe sambungan *coupler*. Meskipun begitu, perbedaan tersebut tidak terlalu besar, sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua tipe sambungan memiliki performa yang mirip.

### 2.1.3 Kajian Sambungan Lewatan Jenis Contact Lap Splice pada Beton Bertulang

Penelitian ini dilakukan oleh Arusmalem Ginting (2019) dari Program Studi Teknik Sipil, Universitas Janabadra. Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan mengetahui efek dan pengaruh dari panjang sambungan atau panjang penyaluran tulangan pada sambungan lewatan berjenis sambungan lewatan kontak kepada kuat lentur balok beton bertulang. Kajian ini dilaksanakan menggunakan metode eksperimen. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa:

1. Memperpanjang sambungan lewatan lebih dari syarat minimum panjang sambungan lewatan dibutuhkan tidak dapat menghasilkan pengaruh signifikan kepada bertambahnya kuat lentur balok bertulang.

2. Balok yang disambungkan menggunakan sambungan lewatan dengan panjang yang cukup bisa memiliki kuat lentur yang sama atau bahkan memiliki kuat lebih dari balok bertulang dengan tulangan yang tidak menggunakan sambungan.

#### 2.1.4 Panjang Lewatan Sambungan Lewatan pada Balok Beton

Penelitian ini dilakukan oleh Putu Deskarta dan A.A. Gede Sutapa (2016) dari Program Studi Teknik Sipil, Universitas Udayana. Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan memperoleh dan mengetahui besarnya panjang lewatan sambungan tulangan dari yang ditanam di dalam beton dengan sengkang, kondisi *overlap*, dan berlokasi di bagian tepi. Penelitian dilaksanakan dengan maksud mengetahui perilaku dari beton tersebut. Penelitian dilaksanakan menggunakan metode eksperimen. Kesimpulan penelitian ini adalah:

1. Bahwa seiring dengan penambahan panjang tulangan yang tertanam di dalam beton, tegangan geser rata-rata pada permukaan tulangan berkurang.
2. Didapat nilai  $20d$  untuk panjang penyaluran tunggal tanpa kait pada beton tekan dan sesuai rumus SNI yaitu  $26d$  untuk panjang lewatannya.
3.  $35d$  adalah panjang *overlap* tulangan yang diperlukan (panjang lewatan) pada tulangan tanpa kait untuk mendapatkan beban ultimit.
4. 1,3 adalah koefisien dari SNI untuk menghitung panjang lewatan pada panjang penyaluran tunggal, namun dari hasil penelitian ini didapat angka 1,75.
5. Rumus dari SNI memberikan hasil 16,2 MPa, dari hasil penelitian didapat angka  $10d$  untuk panjang penyaluran dengan kait pada beton tekan, ini berarti nilai ini 62% lebih besar dari hasil rumus SNI.
6. Tulangan berdiameter 11 mm dengan kait standar pada ujungnya, kait standar tersebut memberikan besar gaya angker sebesar 10 kN, setara dengan  $1/3$  dari kuat leleh tulangan.

#### 2.1.5 Perbandingan Performa Sambungan Lewatan dan Sambungan Mekanis (Coupler) pada Perilaku Lentur Balok Bertulang

Penelitian ini dilakukan oleh Zaneta Ambarwati dari jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Dilaksanakannya penelitian bertujuan mengetahui dari performa sambungan

lewatan dan sambungan mekanis jenis *coupler* dalam perilaku lentur balok beton bertulang. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen. Berikut merupakan kesimpulan penelitian ini yang antara lain:

1. Selisih persen di antara nilai momen Nominal ( $M_n$ ) percobaan pada sambungan lewatan terhadap beton normal diperoleh sebesar 5,0097% lebih besar dan pada sambungan mekanis *coupler* diperoleh sebesar 26,8142% lebih kecil.
2. Nilai momen nominal ( $M_n$ ) percobaan hasil pengujian mendapatkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan besar momen nominal ( $M_n$ ) yang diperoleh dari hasil analisis berdasarkan SNI 2847:2009.
3. Pada pengujian kuat lentur, nilai lendutan maksimal diperoleh dari hasil pengujian balok normal sebesar 67,548 mm, tapi nilai beban maksimal diperoleh dari hasil pengujian balok menggunakan sambungan lewatan bernilai 138,85 kN.

## **2.2 Perbedaan Penelitian**

Adapun perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian-penelitian yang dilaksanakan lebih dahulu dirinci pada subbab di bawah.

### **2.2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu**

Perbedaan penelitian terdahulu bisa dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Perbedaan antara Penelitian Terdahulu

Aspek	Penelitian Terdahulu				
	Jurnal	Jurnal	Jurnal	Jurnal	Tugas Akhir
<b>Jenis</b>					
<b>Peneliti</b>	Putu Deskarta, A.A Gede Sutapa (2016)	Kevin Aurick, Arianti Sutandi (2018)	Arusmalem Ginting (2019)	Cho, et al (2021)	Zaneta Ambarwati (2022)
<b>Judul</b>	Panjang Lewatan Sambungan Lewatan pada Balok Beton	Studi Perbandingan Sambungan Tulangan Kolom dengan Metode <i>Lap Splice</i> dan Metode <i>Mechanical Splice</i> pada Proyek Indonesia	Kajian Sambungan Lewatan Jenis <i>Contact Lap Splice</i> pada Beton Bertulang	Sudy on the Bending and Joint Performance of Reinforced Concrete Beams Using High-Strength Rebars	Perbandingan Performa Sambungan Lewatan dan Sambungan Mekanis ( <i>Coupler</i> ) pada Perilaku Lentur
<b>Tujuan</b>	Mendapatkan panjang lewatan sambungan tulangan yang ditanam di dalam beton dengan sengkang, kondisi overlap, dan terletak pada bagian tepi.	Membandingkan sambungan tulangan lewatan dengan sambungan tulangan mekanis dan sebagai studi pengaplikasian tentang sambungan tulangan menggunakan metode sambungan tulangan mekanis	Mengetahui efek dan pengaruh dari panjang penyambungan atau penyaluran tulangan dalam sambungan lewatan berjenis sambungan lewatan kontak kepada kuat lentur balok beton bertulang	Mengetahui performa sambungan dari beton bertulang menggunakan mutu material sambungan tinggi.	mengetahui performa sambungan lewatan dan sambungan mekanis jenis <i>coupler</i> dalam perilaku lentur balok bertulang

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan antara Penelitian Terdahulu

Aspek	Penelitian Terdahulu				
<b>Metode</b>	Eksperimen	Survei lapangan, wawancara, dan studi literatur dari buku dan jurnal	Eksperimen	Eksperimen	Eksperimen
<b>Kesimpulan</b>	<p>1. Bahwa seiring dengan penambahan panjang tulangan yang tertanam di dalam beton, tegangan geser rata-rata pada permukaan tulangan berkurang ;</p> <p>2. Didapat nilai 20d untuk panjang penyaluran tunggal tanpa kait pada beton tekan dan sesuai rumus SNI yaitu 26d untuk panjang lewatannya ;</p>	<p>1. Bahwa durasi pekerjaan yang dibutuhkan oleh sambungan yang menggunakan metode sambungan mekanis lebih lama, jika dibandingkan dengan durasi pekerjaan yang dibutuhkan oleh sambungan yang menggunakan metode sambungan lewatan.;</p>	<p>1. Memperpanjang sambungan lewatan lebih dari syarat minimum panjang sambungan lewatan yang dibutuhkan tidak dapat menghasilkan pengaruh signifikan kepada bertambahnya kuat lentur balok bertulang ;</p>	<p>4. Pada sambungan tulangan yang memakai sambungan metode mekanis, tidak terjadi tegangan tarik maksimum yang disebabkan oleh sambungan mekanis lebih dahulu terlepas ketika mencapai tegangan leleh (<i>Yield Strength</i>).</p>	<p>1. Selisih persen di antara nilai momen Nominal (<math>M_n</math>) percobaan pada sambungan lewatan terhadap beton normal diperoleh sebesar 5,0097% lebih besar dan pada sambungan mekanis <i>coupler</i> diperoleh sebesar 26,8142% lebih kecil ;</p>



Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan antara Penelitian Terdahulu

Aspek	Penelitian Terdahulu				
<b>Kesimpulan</b>	<p>3. 35d adalah panjang <i>overlap</i> tulangan yang diperlukan (panjang lewatan) pada tulangan tanpa kait untuk mendapatkan beban ultimit ;</p> <p>4. 1,3 adalah koefisien dari SNI untuk menghitung panjang lewatan pada panjang penyaluran tunggal, namun dari hasil penelitian ini didapat angka 1,75 ;</p>	<p>1. Alat yang dibutuhkan oleh sambungan yang menggunakan metode sambungan mekanis lebih banyak, jika dibandingkan dengan alat yang dibutuhkan oleh sambungan yang menggunakan metode sambungan lewatan ;</p> <p>Harga yang harus dibayar oleh sambungan yang menggunakan metode sambungan mekanis lebih besar, jika dibandingkan dengan harga yang harus dibayar oleh sambungan yang menggunakan metode sambungan lewatan</p>	<p>Balok yang disambungkan dengan sambungan lewatan dengan panjang yang cukup bisa memiliki kuat lentur yang sama atau bahkan kuat dari balok bertulang lebih dengan tulangan tanpa sambungan.</p>	<p>5. Tegangan leleh pada sambungan mekanis tidak dapat memperoleh 100% tegangan leleh baja tulangan, yaitu hanya meraih 79,49% dari tegangan leleh baja tulangan dengan tanpa sambungan.</p> <p>6. Rangkaian sambungan mekanis paling optimal adalah rangkaian sambungan mekanis yang mengaplikasikan tiga sambungan pada satu desain tulangan dengan tegangan leleh mencapai kekuatan 358,78 MPa.</p>	<p>2. Nilai momen nominal (Mn) percobaan hasil pengujian mendapatkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai momen nominal (Mn) diperoleh dari hasil analisis berdasarkan SNI 2847:2009 ;</p>

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan antara Penelitian Terdahulu

Aspek	Penelitian Terdahulu				
<b>Kesimpulan</b>	<p>5. Rumus dari SNI memberikan hasil 16,2 MPa, dari hasil penelitian didapat angka 10d untuk panjang penyaluran dengan kait pada beton tekan, ini berarti nilai ini 62% lebih besar dari hasil rumus SNI ;</p> <p>6. Tulangan berdiameter 11 mm dengan kait standar pada ujungnya, kait standar tersebut memberikan besar gaya angker sebesar 10 kN, sama dengan 1/3 dari kuat leleh tulangan.</p>				<p>3. Pada pengujian kuat lentur, nilai lendutan maksimal diperoleh dari hasil pengujian balok normal sebesar 67,548 mm, tapi nilai beban maksimal diperoleh dari hasil pengujian balok dengan sambungan lewatan sebesar 138,85 kN.</p>

### 2.2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian ini

Terdapat beberapa variabel yang membedakan penelitian ini dengan penelitian-penelitian terdahulu. Antara lain:

1. Dalam penelitian ini, peneliti memakai balok berdimensi 150 x 300 x 2000 mm dengan tulangan utama daerah tarik berprofil tulangan ulir dengan diameter D13 berjumlah dua (2D13) dan tulangan utama daerah tekan berprofil tulangan polos dengan diameter P10 berjumlah dua (2P10) untuk masing-masing sambungan serta sengkang berdiameter P8 dengan spasi 150 mm (P8-150).
2. Penelitian ini akan meneliti efektivitas dari kedua sambungan dengan mengorelasikan performa yang dihasilkan dengan sumber daya yang dibutuhkan di antara kedua sambungan.

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Beton

SNI 2847:2019 memaparkan bahwa beton adalah sebuah kombinasi yang terdiri dari *portland cement* atau *hydraulic cement* lain dengan air, agregat kasar serta halus, tanpa ataupun dengan bahan-bahan aditif lainnya. Beton pada umumnya memiliki kekuatan rencana ( $f'_c$ ) maksimal apabila sudah mencapai umur 28 hari. Material penyusun direncanakan dengan *mix design* sedemikian rupa sehingga dapat mencapai mutu yang direncanakan.

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

*Mix design* memakai SNI 03-2843-2000 sebagai acuannya. Di bawah ini merupakan tahapan-tahapan *mix design* dalam penelitian ini.

##### 1. Kuat tekan rencana

Berikut merupakan rumus yang bisa dipakai untuk menganalisis kuat tekan rencana rata-rata.

$$f_{cr} = f_c' + M \quad (3.1)$$

dimana:

$$M = 1,64 \times S_r \quad (3.2)$$

dengan:

$f_{cr}$  = kuat tekan rata-rata rencana dalam MPa

$f_c'$  = kuat tekan rencana dalam MPa

$M$  = nilai tambah berdasarkan jumlah benda uji

1,64 = tetapan yang bersifat statistik

$S_r$  = deviasi standar rencana

Berikut merupakan Tabel 3.1 yang dapat digunakan untuk menentukan nilai deviasi standar.

**Tabel 3.1 Faktor Pengali Deviasi Standar**

<b>Jumlah Pengujian</b>	<b>Faktor</b>
Kurang dari 15	Lihat butir 4.2.3.1 1) (5)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

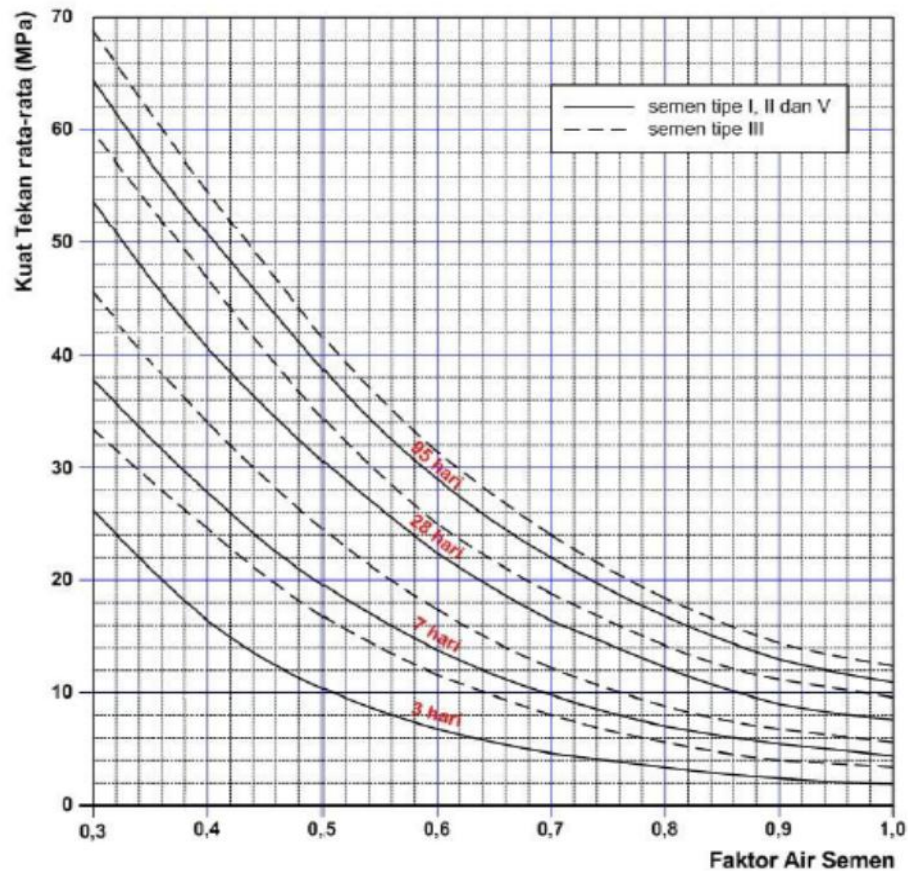
## 2. Faktor Air Semen (FAS)

Berikut merupakan Tabel 3.2 serta grafik 3.1 yang dapat digunakan untuk menentukan hubungan antara FAS dan kuat tekan.

**Tabel 3.2 Perkiraan Kuat Tekan**

Jenis semen ...	Jenis agregat kasar	Kekuatan tekan (Mpa)				Bentuk uji
		Pada umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II,V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



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

### Gambar 3.1 Hubungan antara Kuat Tekan dan FAS

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

#### 3. Kadar air bebas

Kesesuaian *slump factor* dapat ditetapkan dengan tujuan kemudahan dalam penuangan, perataan, dan pemadatan pekerjaan beton. Kadar air bebas yang terdapat dalam campuran beton segar dipengaruhi oleh nilai *slump*. Berikut merupakan rumus yang dapat digunakan dalam menentukan kadar air bebas

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3} W_h + \frac{2}{3} W_k \quad (3.3)$$

Dengan:

$W_h$  = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus

$W_k$  = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

Berikut merupakan Tabel 3.3 yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai  $W_h$  dan  $W_k$ .

**Tabel 3.3 Perkiraan Kadar Air Bebas ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )**

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

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

#### 4. Kadar semen

Berikut merupakan rumus yang dapat digunakan untuk menentukan jumlah semen.

$$\text{Kadar semen} = \frac{\text{kadar air bebas}}{\text{FAS}} \quad (3.4)$$

Lalu, jumlah minimal semen dan jumlah maksimal faktor air harus ditentukan. Apabila terjadi perubahan terhadap jumlah semen menjadi kurang dari jumlah minimalnya ataupun lebih dari jumlah maksimumnya, maka faktor air semen (FAS) harus dihitung ulang. Berikut merupakan Tabel 3.4 yang dapat digunakan untuk menentukan syarat dari jumlah minimal semen serta jumlah maksimal FAS.

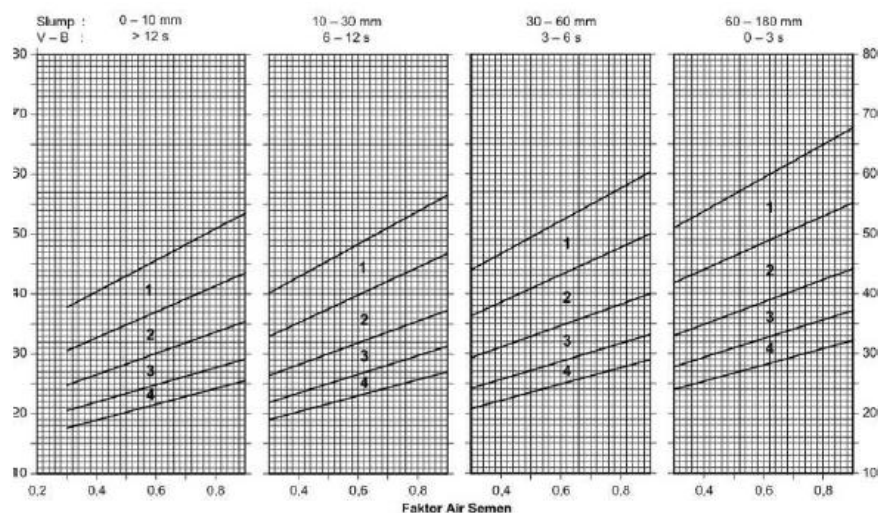
**Tabel 3.4 Syarat Minimum Jumlah Semen dan Maksimum FAS**

Lokasi ---	Jumlah Semen minimum Per m <sup>3</sup> beton (kg)	Nilai Faktor Air- Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan: a. keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruang bangunan: a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah: a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan: a. air tawar		Lihat Tabel 6
b. air laut		Lihat Tabel 6

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

### 5. Kadar agregat halus

Dalam mengamati gradasi dari agregat halus dan menentukan nilai persentasi dari kadarnya dapat menggunakan data nilai *slump* dan nilai FAS. Berikut merupakan Gambar 3.2 yang dapat digunakan untuk menentukan nilai persentase dari agregat halus.



Grafik 14: Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 20 mm

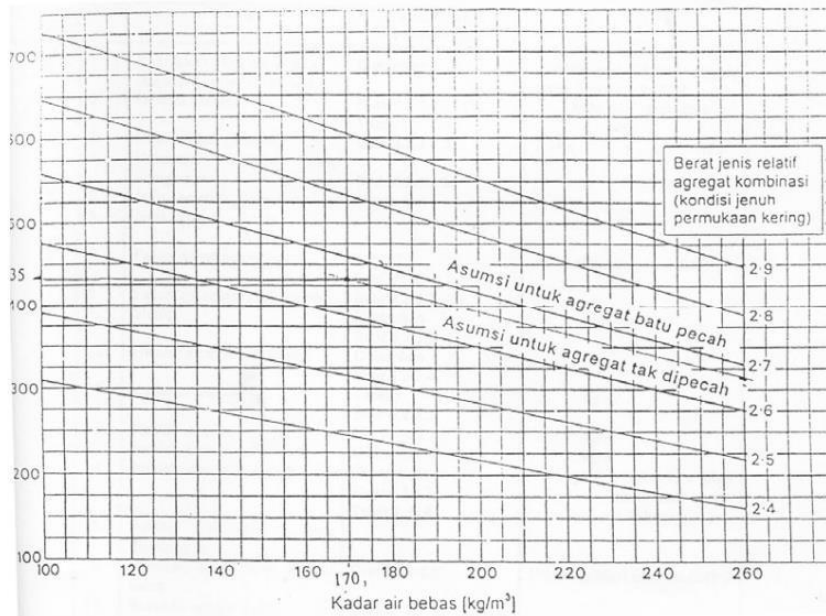
### Gambar 3.2 Persentase Agregat Halus

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



## 6. Berat isi beton

Berikut merupakan Gambar 3.3 yang dapat digunakan digunakan untuk menentukan berat isi beton yang sesuai dengan agregat gabungan yang terdiri berat jenis relatif dan kadar air bebas.



**Gambar 3.3 Berat Isi Beton**

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

## 7. Komposisi

Untuk mendapatkan berat gabungan kedua agregat, terlebih dahulu harus mendapatkan berat semen dan air yang didapatkan dari komposisi material. Setelah mendapatkan persentase dari berat setiap agregat, maka telah didapatkan berat dari setiap bahan penyusun beton dengan satuan  $1 \text{ m}^3$ .

### 3.3 Pengujian Kuat Desak Beton

Dalam menentukan pembuatan benda uji penelitian, dibutuhkan sebuah sampel uji acuan. Sampel uji yang dipakai untuk mengukur kuat tekan rencana dalam penelitian ini adalah silinder dengan satuan MPa. Berikut merupakan rumus yang dapat dimanfaatkan untuk menghitung kuat desak beton

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (3.5)$$

Dengan:

- $\sigma_c$  = Tegangan tekan beton (MPa)  
 P = Besar pembebanan tekan (N)  
 A = Luas dari penampang uji (mm<sup>2</sup>)

### 3.4 Baja Tulangan

Berdasarkan SNI 2052:2017, baja tulangan yang dipakai untuk beton adalah sebuah baja terpadu dari karbon atau baja campuran lain yang umumnya memiliki bentuk batangan dengan penampang melingkar serta memiliki permukaan polos untuk BjTP dan ulir untuk BjTS

SNI 2052:2017 membagi jenis baja tulangan menjadi baja tulangan ulir atau sirip (BjTS) dan baja tulangan polos (BjTP).

#### 1. Baja Tulangan Polos (BjTP)

Sesuai namanya, BjTP memiliki permukaan yang polos tidak memiliki sirip atau tidak berulir

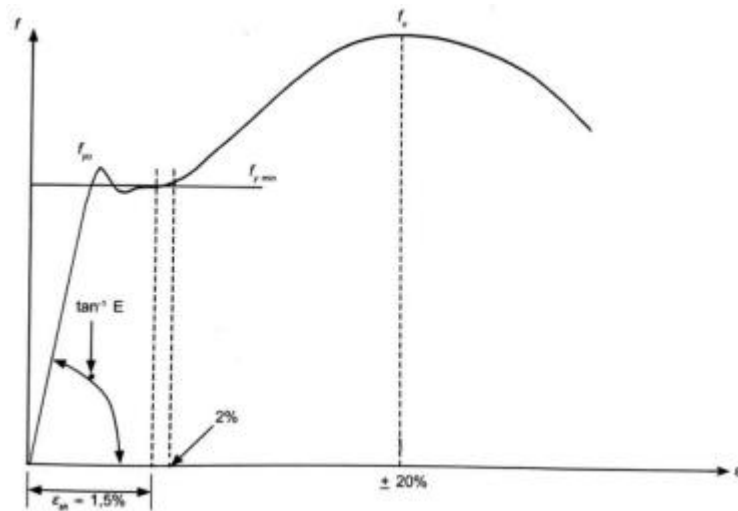
#### 2. Baja Tulangan Beton Sirip (BjTS)

Sesuai namanya, BjTS memiliki permukaan yang bersirip atau berulir. Sirip dan ulir tersebut menyatu secara melintang dan memanjang penampang batang. Sirip atau ulir ini dibentuk agar baja tulangan memiliki daya lekat lebih dari baja tulangan polos dalam menahan gerakan atau gesekan arah sumbu memanjang batang.

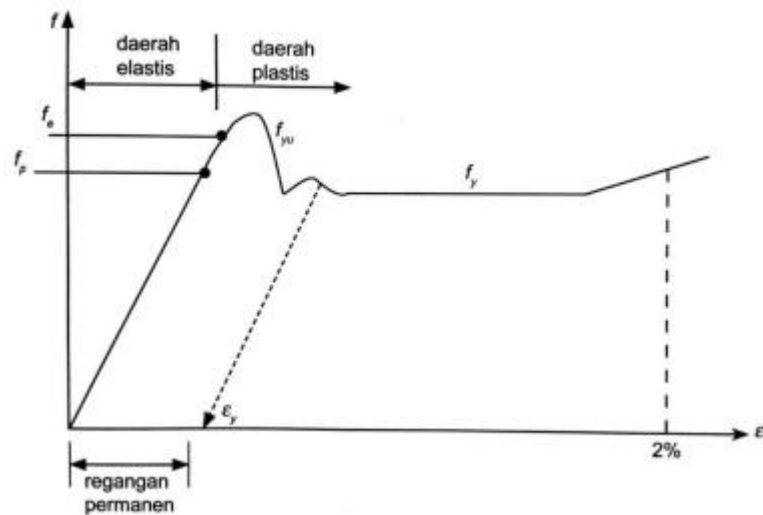
### 3.5 Pengujian Baja

Menurut Setiawan (2008), tingkah laku dari suatu struktur baja yang terdiri dari sifat-sifat mekaniknya haruslah dipahami oleh seorang ahli struktur. Untuk mengerti sifat-sifat mekanik tersebut, dibutuhkan suatu model atau metode pengujian yang tepat. Model pengujian tekan baja tidak bisa menghasilkan data yang tepat dari sifat-sifat mekanik baja. Masalah ini disebabkan oleh kuat tekan baja yang relatif rendah yang menghasilkan potensi tekuk, sehingga menghasilkan

ketidakstabilan pada baja. Oleh karena itu, model pengujian yang dapat menghasilkan data yang tepat dari sifat-sifat mekanik baja adalah model pengujian tarik. Berikut merupakan Gambar 3.4 dan 3.5 yang menunjukkan grafik dari tegangan dan regangan baja.



**Gambar 3.4 Hubungan Tegangan ( $f$ ) vs Regangan ( $\epsilon$ )**  
(Sumber: *Setiawan, 2008*)



**Gambar 3.5 Tegangan-Regangan yang Diperbesar**  
(Sumber: *Setiawan, 2008*)

Hasil uji tarik baja yang ditunjukkan oleh Gambar 3.4 serta Gambar 3.5 adalah hasil pengujian tarik yang dikerjakan pada suhu udara rata-rata kamar dan

dengan kelajuan regangan dengan normal. Hasil tegangan nominal ( $f$ ) dari pengujian ditempatkan pada sumbu vertikal dan perbandingan pertambahan panjang dengan panjang awal atau biasa disebut regangan ( $\epsilon$ ) ditempatkan pada sumbu horisontal. Gambar 3.4 menunjukkan benda uji baja yang ditarik melampaui batas maksimum hingga mengalami keruntuhan dan Gambar 3.5 menampilkan gambaran hasil sampel uji yang memperoleh regangan senilai  $\pm 2\%$  secara detail.

Berikut merupakan titik penting yang terdapat pada kurva tegangan-regangan

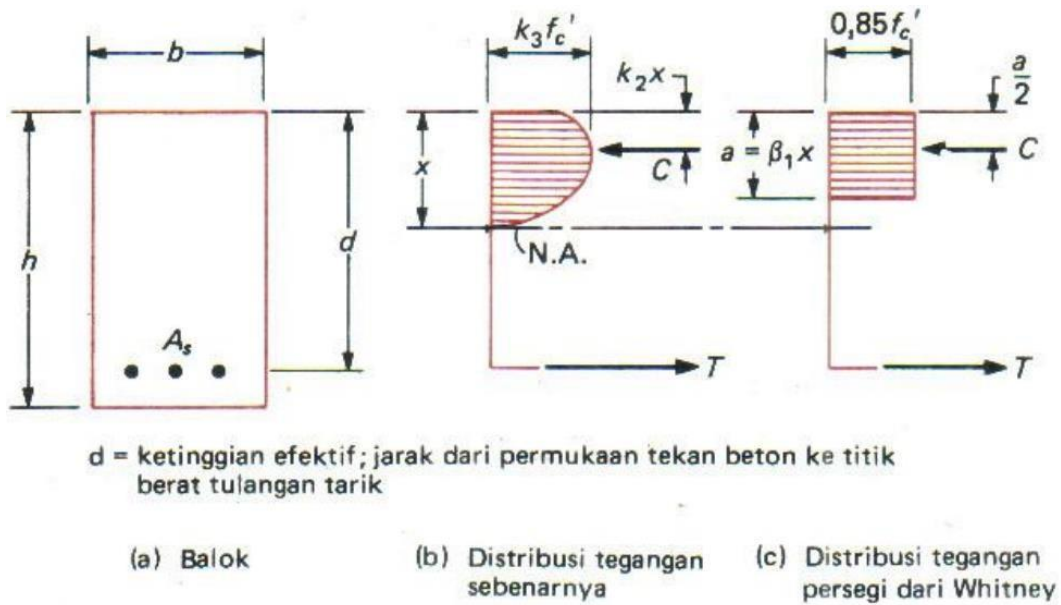
$f_p$	= Batas proporsional
$f_c$	= Batas elastis
$f_{yu}, f_y$	= Tegangan leleh atas dan bawah
$f_u$	= Tegangan putus ( <i>ultimate stress</i> )
$\epsilon_{sb}$	= Regangan saat <i>start</i> dari efek <i>strain-hardening</i>
$\epsilon_u$	= Regangan saat tercapai tegangan putus

### 3.6 Beton Bertulang

SNI 03-2847-2002 menjelaskan bahwa beton bertulang ialah beton yang dirancang dengan baja tulangan dengan banyaknya serta luasan tulangannya yang tidak boleh lebih sedikit dari persyaratan nilai minimalnya dengan atau tidak dengan prategang, serta didesain dengan perhitungan bahwa beton dengan tulangan yang dipadukan dapat bersama-sama menahan beban yang terjadi.

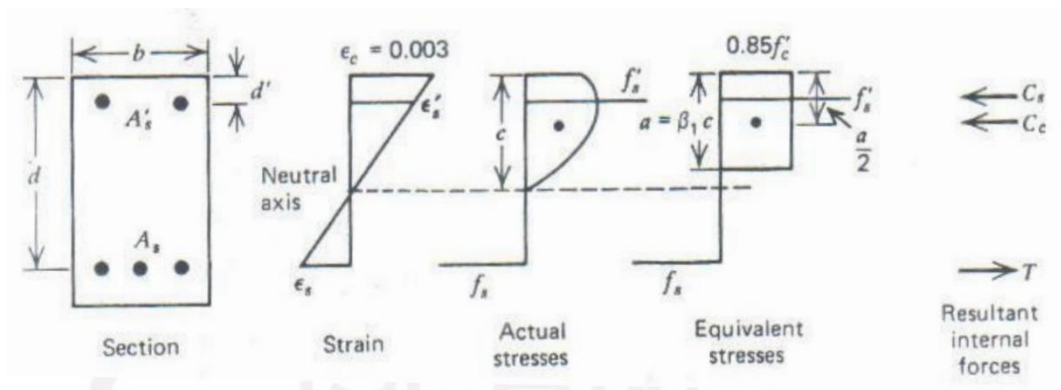
Balok beton yang ditulangi dibagi menjadi dua tipe, yaitu balok dengan tulangan rangkap serta balok dengan tulangan tunggal. Perbedaan yang dimiliki oleh kedua balok beton bertulang tersebut berada pada daerah tulangan memanjangnya. Pada balok beton tulangan tunggal, tulangan memanjangnya didesain hanya pada daerah dengan gaya tarik yang besar, sedangkan pada balok beton dengan tulangan rangkap, tulangan memanjangnya didesain di kedua daerah, yaitu daerah tarik dan daerah tekan. Tulangan memanjang atau biasa disebut tulangan pokok, merupakan tulangan dengan fungsi menahan momen lentur yang terjadi pada sumbu memanjang balok. Berikut merupakan Gambar 3.6 dan 3.7

yang menunjukkan diagram regangan-tegangan antara balok beton tulangan tunggal tunggal dan rangkap.



**Gambar 3.6 Regangan Tegangan Balok Beton Bertulang Tunggal**

(Sumber: *Martin Simatupang, 2013*)



**Gambar 3.7 Regangan Tegangan Balok Beton Bertulang Rangkap**

(Sumber: *Martin Simatupang, 2013*)

Dengan diagram di atas, dapat dirumuskan rumusan momen nominal ( $M_n$ ) untuk masing-masing jenis balok beton tulangan tunggal. Berikut persamaan yang menunjukkan rumus  $M_n$ .

$$C_c = 0,85 \times f'c \times a \times b \tag{3.6}$$

$$T_s = A_s \times f_y \tag{3.7}$$

$$M_n = C_c \times (d - \frac{a}{2}) \quad (3.8)$$

$$M_n = 0,85 \times f'c \times b \times a (d - \frac{a}{2}) \quad (3.9)$$

Atau

$$M_n = T_s \times (d - \frac{a}{2}) \quad (3.10)$$

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \quad (3.11)$$

Dengan:

$C_c$  Gaya Tekan Beton

$T_s$  Gaya Tarik Tulangan

$M_n$  Momen Lentur yang dapat Dikerahkan Penampang

Berikut persamaan yang dapat digunakan untuk menentukan nilai  $M_n$  pada balok beton tulangan rangkap

$$C_s = A_s' \times f_s \quad (3.12)$$

$$M_n = C_c (d - \frac{a}{2}) + C_s (d - d') \quad (3.13)$$

$$M_n = 0,85 \times f'c \times b \times a (d - \frac{a}{2}) + A_s' \times f's (d - d') \quad (3.14)$$

Dengan:

$C_s$  Gaya Tekan Tulangan Tekan

### 3.7 Sambungan Tulangan

Menurut Lancelot (1985), terdapat tiga cara dalam pekerjaan sambungan tulangan yang dapat dilakukan, yaitu sambungan tulangan lewatan (*lap splice*), sambungan tulangan las (*welded splice*), serta sambungan tulangan mekanis (*mechanical connection*). Dalam penelitian ini, akan dilakukan dua dari tiga cara penyambungan, yaitu cara penyambungan lewatan dan cara penyambungan mekanis.

#### 3.7.1 Sambungan Lewatan (*Lap Splice Connection*)

Menurut SNI 2847:2019, batas maksimal diameter tulangan yang diizinkan untuk menggunakan sambungan jenis lewatan adalah 36 mm (D36), terkecuali

pada kondisi yang diatur pada pasal 25.5.5.3. Sambungan tulangan lewatan terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Sambungan lewatan kontak (*Contact lap splice*)

Berdasarkan persyaratan pada pasal 25.2.1, disyaratkan bahwa sambungan lewatan kontak non prategang yang memiliki posisi sejajar pada satu barisan horizontal harus mempunyai nilai spasi bersih yang tidak kurang dari nilai yang paling besar antara 25 mm,  $d_b$ , dan  $(4/3)d_{agg}$

2. Sambungan tulangan non kontak (*non-contact lap splice*)

Berdasarkan persyaratan pada pasal 25.5.1.3, disyaratkan bahwa sambungan lewatan non kontak yang berada pada komponen lentur tidak diperbolehkan memiliki spasi antara pusat arah melintang dengan nilai 0,25 dari panjang total sambungan lewatan dan 150 mm.

Panjang penyaluran ( $\ell_d$ ) berperan untuk memperoleh panjang lewatan yang didasari nilai  $f_y$ , disebabkan pemasangan tulangan yang berlebihan di lokasi terpasangnya sambungan lewatan ditunjukkan dengan klasifikasi jenis sambungan tersebut. Sistem dari penyaluran terbagi menjadi dua, yaitu penyaluran tulangan ulir dengan kawat ulir (lewatan) dan penyaluran tulangan ulir dengan las (mekanis). Berdasarkan pasal 25.4.2.3, untuk tulangan ulir-kawat ulir,  $\ell_d$  dapat dihitung dengan:

$$\ell_d = \left( \frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f'_c}} \frac{y_t y_e y_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)} \right) d_b \quad (3.21)$$

Dengan:

- $\ell_d$  = Jarak paling kecil dari pusat tulangan ke tepi beton yang paling dekat dan setengah dari spasi pusat ke pusat tulangan yang disalurkan
- $c_b$  = Diameter tulangan (mm)
- $\ell_d$  = Panjang penyaluran (mm)
- $f_y$  = Kuat tegangan leleh tulangan (MPa)

$f'c$  = Kuat tegangan tekan beton (MPa)

Dengan nilai  $(\frac{C_b + K_{tr}}{d_b})$  tidak boleh lebih besar dari 2,5 dan

$$K_{tr} = \frac{40A_{tr}}{sn} \quad (3.22)$$

Dengan jumlah batang tulangan yang tersambung memakai sambungan lewatan sepanjang bidang pembelahan disebut dengan  $n$ . Pemakaian  $K_{tr} = 0$  diperbolehkan dengan tujuan simplifikasi desain, meskipun terpasang tulangan transversal.

Klasifikasi kelas A ataupun B dengan panjang penyaluran ( $\ell_d$ ) pada sambungan lewatan kondisi tarik dapat dihitung dengan persamaan 3.21. Berikut Tabel 3.5 yang dapat digunakan untuk menentukan kategori kelas dari panjang sambungan lewatan tulangan berulir dan kawat yang ada pada daerah tarik dan Tabel 3.6 yang dapat digunakan untuk menentukan panjang penyaluran berdasarkan diameter.

**Tabel 3.5 Panjang Sambungan Lewatan Batang Ulir dan Kawat Ulir  
Dalam Kondisi Tarik Berdasarkan Klasifikasi Kelas**

$A_{s,t}/A_{s,p}^{[1]}$ sepanjang sambungan lewatan	Maksimum persentase dari $A_s$ lewatan dalam panjang lewatan yang diperlukan	Tipe sambungan lewatan	$\ell_{st}$	
$\geq 2,0$	50	kelas A	terbesar dari	$1,0 \ell_d$ dan 300 mm
	100	kelas B	terbesar dari	$1,3 \ell_d$ dan 300 mm
$< 2,0$	semua kelas	kelas B		

(Sumber: SNI 2847:2019)



**Tabel 3.6 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir Dalam Kondisi Tarik Berdasarkan pada Diameter**

Spasi dan selimut	Batang D19 dan yang lebih kecil dan kawat ulir	Batang D22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang atau kawat yang disalurkan atau disambung lewatkan tidak kurang dari $d_b$ , selimut beton paling sedikit $d_b$ , dan sengkang atau sengkang ikat sepanjang $\ell_d$ tidak kurang dari standar minimum atau spasi bersih batang atau kawat yang disalurkan atau disambung lewatkan paling sedikit $2d_b$ dan selimut beton paling sedikit $d_b$	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$
Kasus-kasus lainnya	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,4 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,1 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$

(Sumber: SNI 2847:2019)

Jika terdapat desain tulangan yang disambung dengan tulangan lain memiliki dimensi yang berbeda, maka sambungan lewatkan yang berlokasi di dalam daerah tarik  $\ell_{st}$  wajib memiliki nilai yang lebih tinggi dari  $\ell_d$ .

### 3.7.2 Sambungan Mekanis *Coupler* (*Coupler Mechanical Connection*)

Prinsip dasar dari sambungan mekanis tulangan berupa *off set mechanical* dan *in line mechanical*. *Off set mechanical* dilakukan dengan cara seperti sambungan lewatkan, sementara *in line mechanical* dilakukan dengan cara menyambungkan ujung tulangan dengan ujung yang lain. Berdasarkan pada ACI

439.3R-91 sambungan mekanis tulangan beton bertulang, dijelaskan bahwa sambungan mekanis terbagi menjadi tiga jenis, antara lain:

1. Sambungan Mekanis Tegangan Tekan (*Compression-only mechanical connections*)

Umumnya pada hampir seluruh sambungan mekanis tegangan tekan, gaya tekan disalurkan dari ujung atau pangkal tulangan ke ujung atau pangkal tulangan yang lain yang sejajar pada satu aksis. Berikut merupakan beberapa jenis dari sambungan mekanis tegangan tekan:

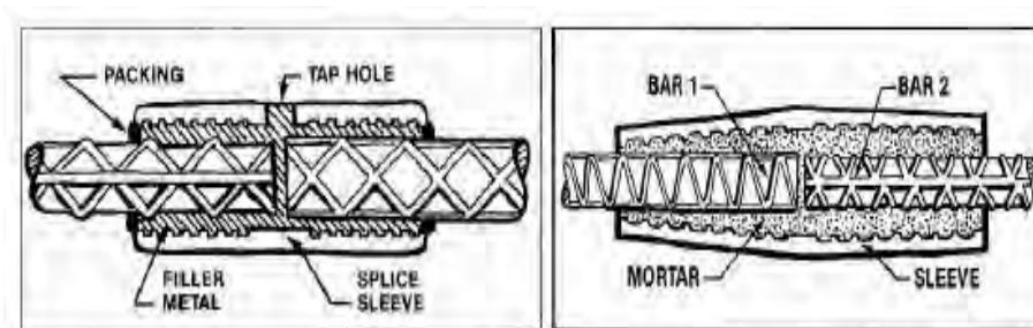
a) *Solid-Type Steel Coupling Sleeve*



**Gambar 3.8 *Solid-Type Steel Coupling Sleeve***  
(Sumber: *ACI 439.3R-91*)

Penggabungan dari dua batang tulangan dengan selongsong berbentuk silinder yang mempunyai sayap terpisah berlubang dengan fungsi sebagai wadah untuk menancapkan baut pengencang adalah cara kerja dari sambungan mekanis ini. Baut pengencang yang ditancapkan memiliki fungsi untuk mengunci sayapnya, sehingga *coupling sleeve* dapat menggenggam kedua batang tulangan. *Coupling sleeve* memiliki rentang panjang dari 8 inchi (203 mm) sampai dengan 12 inchi (305 mm). Rentang panjang ini tergantung kepada besar diameter tulangan yang akan disambung.

b) *Steel-Filled Coupling Sleeve*

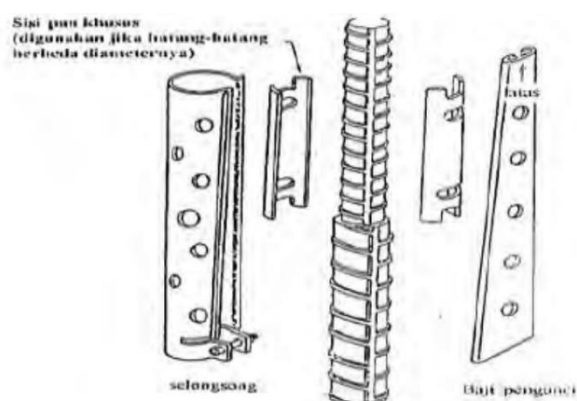


**Gambar 3.9 Steel-Filled Coupling Sleeve**

(Sumber: ACI 439.3R-91)

Batang tulangan dapat memasuki sambungan ini melalui lubang yang didesain berada pada tengah dari sambungan yang berbentuk tabung ini. Sambungan ini diisi dengan material mortar atau logam yang cair. Mortar atau logam cair tersebut diisi pada lubang sambungan kemudian didesak dengan batang tulangan yang akan disambung, sehingga mortar atau logam cair itu mengisi sambungan dan setiap sela dari batang tulangan sepanjang sambungan. Sambungan ini memiliki beberapa kelemahan seperti tidak tahan terhadap suhu tinggi, lama proses pembentukan yang dapat memakan waktu 2-4 jam, sampai pada *visual controlling* yang sulit dilakukan.

c) *Wedge-Locking Coupling Sleeve*



**Gambar 3.10 Wedge-Locking Coupling Sleeve**

(Sumber: ACI 439.3R-91)

Sambungan jenis ini berbentuk selongsong dengan sayap pada sisi-sisinya, akan tetapi sayap tersebut mempunyai dimensi yang bervariasi di sepanjang lengannya. Keunikan dari sambungan tipe ini adalah kemampuannya menyambungkan dua batang tulangan dengan diameter yang bervariasi, dikarenakan bentuk kerucut pada ujung sambungan. Cara pemasangan sambungan ini dilakukan dengan mengencangkan baut yang berada pada jepitan dan mengetatkan tabung dengan cara memasukan baji ke dalamnya. *Wedge-locking coupling sleeve* memiliki besar panjang antara 140 mm hingga 305 mm.

## 2. Sambungan Mekanis Tegangan Tarik

Untuk tulangan yang berada di daerah tarik seperti tulangan lentur dapat menggunakan sambungan ini. Berikut merupakan beberapa jenis dari sambungan mekanis tegangan tarik:

### a) *Steel Coupling Sleeve with Wedge*



**Gambar 3.11 *Steel Coupling Sleeve with Wedge***

(Sumber: *ACI 439.3R-91*)

Sambungan ini terbentuk dari 2 bagian, yaitu pasak dengan bentuk paku/pin dan *coupling sleeve* dengan bentuk oval. Baja tulangan dimasukan ke dalam badan sambungan secara *overlap*, lalu lubang yang berada di bagian atas ditanamkan dan dikencangkan ke dalam badan sambungan secara menekan

dengan alat pengencang hidrolis. Dengan cara itu didapatkan baja tulangan yang telah tersambung. Sambungan ini hanya dapat menyambungkan baja tulangan dengan diameter 3 - 7 mm dengan satu baji.

b) *Bar Splice Double Barrel*



**Gambar 3.12 Bar Splice Double Barrel**

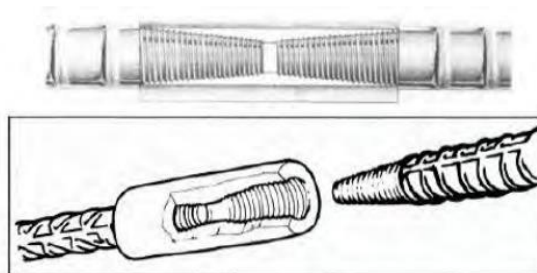
(Sumber: *ACI 439.3R-91*)

Sambungan jenis ini terbentuk dari satu lengan yang berfungsi untuk menghubungkan dan beberapa baut atau sekrup. Cara kerja pemasangan sambungan ini dengan memasukkan baja tulangan secara *overlap* ke dalam lengan, lalu sekrup dipasang dan dikencangkan secara menakan dengan kekuatan pengencangan yang telah direncanakan. Efek saling mengunci (*interlocking*) disebabkan oleh kekuatan pengencangan sekrup dan dengan efek saling mengunci tersebut, diharapkan penyaluran tegangan dapat terjadi. Sambungan ini dapat menyambungkan batang tulangan yang berbeda diameternya.

### 3. Gabungan dari Tegangan Tarik-Tekan (*Tension-Compression Mechanical Connections*)

Berikut merupakan jenis-jenis dari sambungan ini:

#### a) *Taper-Threaded Steel Coupler*

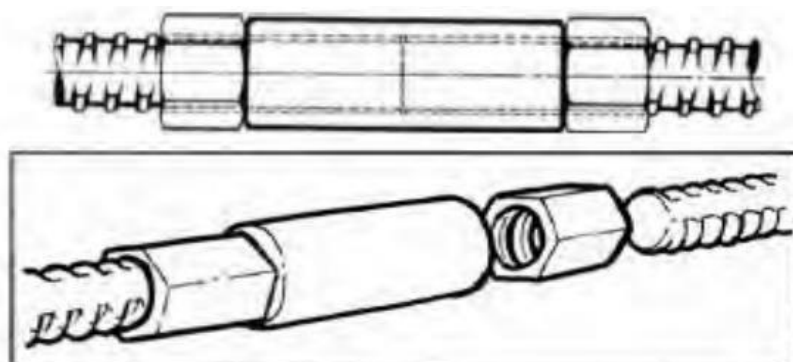


**Gambar 3.13 *Taper-Threaded Steel Coupler***

(Sumber: *ACI 439.3R-91*)

Sambungan jenis ini berbentuk tabung dengan lubang yang berulir dan meruncing semakin kecil di dalamnya. Prosedur dari sambungan ini adalah dengan meruncingkan kedua baja tulangan sehingga terdapat kecocokan antara baja tulangan - sambungan - baja tulangan. Kunci torsi dan kunci pipa digunakan pada proses pemutaran sambungan, pengecekan kekencangan, dan penguncian. Sambungan ini dapat menyambungkan baja tulangan berdiameter 14 dan 18 mm dengan torsi minimalnya berada di 200 ft-lb atau 270 Nm

#### b) *Coupler for Thread-Deformed Reinforcing Bars*



**Gambar 3.14 *Coupler for Thread-Deformed Reinforcing Bars***

(Sumber: *ACI 439.3R-91*)

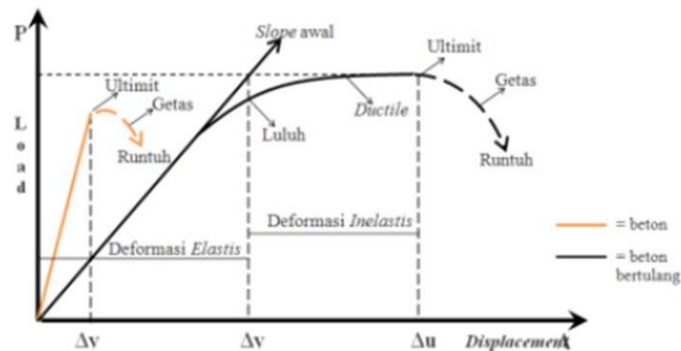
Prosedur perakitan sambungan jenis ini dilaksanakan secara memutar dengan torsi atau tenaga putaran. Proses pemutaran dapat menggunakan kunci pas torsi hidrolik sebagai alat bantu. Nilai torsi untuk tulangan berdiameter 6 - 11 mm berkisar 150-750 ft-lb atau 203-1016 Nm dan untuk tulangan berdiameter 14-18 mm berkisar 1500 dan 3000 ft-lb atau 2032 dan 4056 Nm. Baja tulangan dengan diameter yang berbeda mampu disambungkan oleh sambungan ini. Untuk proses pengetatan, dibutuhkan jarak bersih sebesar  $1,5 \times$  diameter baja tulangan.

### **3.8 Daktilitas**

#### **3.8.1 Konsep Daktilitas**

Daktilitas merupakan sifat dari suatu perencanaan struktur yang sangat dipertimbangkan sehingga tercapai standar kelayakan guna mengontrol kerusakan struktur (Punmia, 2007). Menurut Kwan, Ho et al (2002), menjelaskan bahwa desain balok beton bertulang berstruktur tahan gempa yang dibuat dengan beton normal dengan mutu yang tinggi, kekuatan dan daktilitas dari balok beton bertulang ini harus dipertimbangkan. Pada saat struktur menahan beban gempa, elemen struktur yang direncanakan dengan daktilitas yang baik mampu menyerap gaya lebih besar dibandingkan dengan elemen struktur lain yang tidak direncanakan dengan daktilitas yang baik.

Daktilitas pada balok beton bertulang merupakan perbandingan parameter perubahan (deformasi) dari suatu struktur disaat struktur tersebut mengalami keruntuhan terhadap parameter deformasi dari suatu struktu pada saat mengalami kelelahan. Parameter yang digunakan dalam penentuan suatu struktur/bahan disebut dengan Faktor Daktilitas ( $\mu$ ). Berikut merupakan gambar 3.15 yang menunjukkan hubungan antara beban dengan lendutan.



**Gambar 3.15 Hubungan antara Beban dengan Lendutan pada Beton**

(Sumber: Punmia, 2007)

Dalam penentuan daktilitas pada balok beton bertulang dilakukan dengan membandingkan defleksi balok pada saat mengalami kelelahan pertama dengan defleksi struktur pada saat ultimit balok (Lianasari, A. E & Siahaan, R. P. 2019).

Besaran nilai Faktor Daktilitas ( $\mu$ ) dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta v} \quad (3.23)$$

Dengan:

- $\mu$  = Faktor Daktilitas
- $\Delta u$  = Lendutan Ultimit (mm)
- $\Delta v$  = Lendutan Sewaktu Leleh (mm)

### 3.8.2 Jenis Daktilitas

Secara dasarnya, daktilitas terbagi menjadi beberapa jenis. Pembagian jenis ini didasarkan kepada beberapa definisi yang ada. Definisi daktilitas didasarkan pada tiga jenis cara hitungan. Daktilitas bisa diamati dari berbagai segi, yaitu segi tegangan (*strain*), segi lengkungan (*curvature*), dan segi lendutan/perpindahan (*displacement*). Berikut merupakan jenis-jenis dari daktilitas menurut Paulay dan Priestly (1992).

#### 1. Daktilitas Regangan (*Strain Ductility*)

Definisi yang mendasar dari daktilitas merupakan sebuah kapabilitas dari material dalam menahan tegangan plastis dengan tidak mendapatkan



penurunan yang signifikan dari tegangan. Berikut merupakan persamaan 3.24 yang menunjukkan daktilitas tegangan.

$$\mu\varepsilon = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} \quad (3.24)$$

Dengan:

$\mu\varepsilon$  = Daktilitas Regangan

$\varepsilon_u$  = Regangan Ultimit

$\varepsilon_y$  = Regangan Leleh

## 2. Daktilitas Lengkungan (*Curvature Ductility*)

Secara umum, sumber dengan pengaruh paling besar dari suatu lendutan struktur yang tidak elastis adalah perputaran yang ada dalam sambungan plastis yang memiliki potensi, sehingga hal ini bermanfaat guna menyambungkan perputaran per unit panjang (*curvature*) dengan momen tekuk di ujung. Berikut merupakan persamaan 3.25 yang menunjukkan daktilitas lengkungan maksimum.

$$\mu\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (3.25)$$

Dengan:

$\mu\phi$  = Daktilitas Lengkungan

$\phi_u$  = Kelengkungan Ultimit

$\phi_y$  = Kelengkungan Leleh

## 3. Daktilitas Perpindahan/Simpangan (*Displacement Ductility*)

Dapat diartikan sebagai perbandingan antara perpindahan (*displacement*) struktur ketika maksimum terhadap perpindahan struktur ketika leleh. Berikut merupakan persamaan 3.26 yang menunjukkan daktilitas simpangan.

$$\mu\delta = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (3.26)$$

Dengan:

$\mu\delta$  = Daktilitas Simpangan

$\delta u$  = Simpangan Ultimit

$\delta y$  = Simpangan Leleh

### 3.8.3 Tingkat Daktilitas

Secara umum, tingkat daktilitas terbagi menjadi tiga tingkat, yaitu daktilitas penuh, daktilitas terbatas, dan elastik penuh. Berikut merupakan tabel 3.6 yang menunjukkan nilai daktilitas beserta faktor reduksinya dari setiap tingkat.

**Tabel 3.7 Nilai Daktilitas dan Faktor Reduksi setiap Tingkat**

No.	Tingkat Daktilitas	Nilai Daktilitas SNI-1726-2002	Faktor Reduksi (R) SNI-02-2002
1	Elastik Penuh	1,0	1,6
2	Daktilitas Terbatas	1,5	2,4
		2,0	3,2
		2,5	4,0
		3,0	4,8
		3,5	5,6
		4,0	6,4
		4,5	7,2
	5,0	8,0	
3	Daktilitas Penuh	5,3	8,5

(Sumber: SNI-1726-2002)

#### 1. Daktilitas Penuh (*Full Ductility*)

Merupakan suatu tingkat daktilitas struktur gedung. Struktur *daktail* penuh pada saat di ambang keruntuhan terbesar masih mampu mengalami simpangan pasca-elastik dengan mendapat besar faktor daktilitas senilai 5,3 (SNI 03-1726 Tahun 2002).

#### 2. Daktilitas Parsial (*Partial Ductility*)

*Daktail* parsial merupakan suatu tingkat daktilitas struktur gedung. Suatu struktur dapat dikatakan *daktail* parsial ketika suatu strukturnya yang bersifat

elastik penuh memiliki nilai 1,0 dan strukturnya yang lain yang bersifat daktail penuh memiliki nilai 5,3 (SNI 03-1726 Tahun 2002)

### 3. Elastik Penuh (*Full Elastic*)

Elastik penuh adalah tingkatan daktilitas struktur yang bernilai faktor daktilitas sebesar 1,0

## 3.9 Keruntuhan Balok

### 3.9.1 Jenis Keruntuhan

Menurut Trian D. Y. (2015) Keruntuhan yang ada pada penampang balok bisa dikategorikan menjadi tiga jenis keruntuhan. Berikut adalah tiga jenis keruntuhan balok.

#### 1. Keruntuhan Getas atau Tekan (*Brittle Failure*)

Jenis keruntuhan getas atau tekan ini terjadi ketika beton terlebih dahulu mengalami keruntuhan sebelum lelehnya baja tulangan. Keruntuhan getas atau tekan ini umumnya terjadi ketika penampang balok memiliki rasio tulangan yang besar (*Over-Reinforced Concrete*). Hal ini terjadi karena kekuatan tulangan yang lebih besar dari kekuatan beton, sehingga ketika beban bekerja, beton dengan kekuatan lebih lemah dari tulangan akan runtuh terlebih dahulu.

Balok dengan jenis keruntuhan ini harus dihindari, karena sifat keruntuhannya yang getas atau secara tiba-tiba. Ketika beban bekerja dengan melebihi kapasitas, *early warning* berupa lendutan tidak akan terlihat, lalu balok akan runtuh dengan getas.

#### 2. Keruntuhan Seimbang (*Balance Failure*)

Jenis keruntuhan seimbang ini terjadi ketika keruntuhan beton dan melelehnya baja tulangan terjadi di waktu yang bersamaan. Artinya, beban yang bekerja menyebabkan regangan tekan yang dimiliki beton mencapai regangan tekan maksimum atau sebesar 0,03 dan regangan tarik yang dimiliki tulangan mencapai regangan tarik maksimum secara bersamaan.

Keruntuhan ini disebut sebagai keruntuhan yang ideal dengan performa dari beton dan baja tulangan dimanfaatkan secara efektif. Keruntuhan ini merupakan contoh perencanaan beton bertulang yang efektif.

### 3. Keruntuhan Duktail atau Tarik (*Ductile Failure*)

Jenis keruntuhan duktail atau tarik ini terjadi ketika tulangan terlebih dahulu mengalami kelelahan sebelum keruntuhan beton. Jenis keruntuhan duktail atau tarik ini umumnya terjadi ketika penampang balok memiliki rasio tulangan yang kecil (*Under-Reinforced Concrete*). Hal ini terjadi karena kekuatan tulangan yang lebih kecil dari kekuatan beton, sehingga ketika beban bekerja, tulangan dengan kekuatan lebih lemah dari beton akan leleh terlebih dahulu.

Balok dengan jenis keruntuhan ini dapat memberikan keuntungan pada faktor keamanan, karena sifat keruntuhannya yang duktail atau tidak secara tiba-tiba. Ketika beban bekerja dengan melebihi kapasitas, beton masih dapat melakukan penahanan dan mampu memberikan lendutan. *Early warning* berupa lendutan akan terlihat, lalu balok tidak akan runtuh secara tiba-tiba.

#### 3.9.2 Pola Retak Balok

Retakan yang didapat ketika balok ditekan dengan pembebanan tidak dapat dihindari, namun retakan ini dapat diantisipasi atau dicegah dengan konfigurasi tulangan tertentu. Seperti pemakaian tulangan geser untuk mencegah retakan geser akibat gaya geser yang terjadi.

Menurut MacCormac (2001) ada lima jenis pola keretakan yang dapat terjadi pada penampang balok. Kelima retakan ini memiliki tampilan visual yang berbeda. Berikut merupakan lima retakan tersebut.

##### 1. Retak Lentur

Retak lentur merupakan retakan yang secara visual dapat dilihat terjadi secara vertikal memanjang berawal dari daerah tarik menuju daerah tekan. Berikut merupakan gambar yang menunjukkan ilustrasi dari jenis keretakan ini.

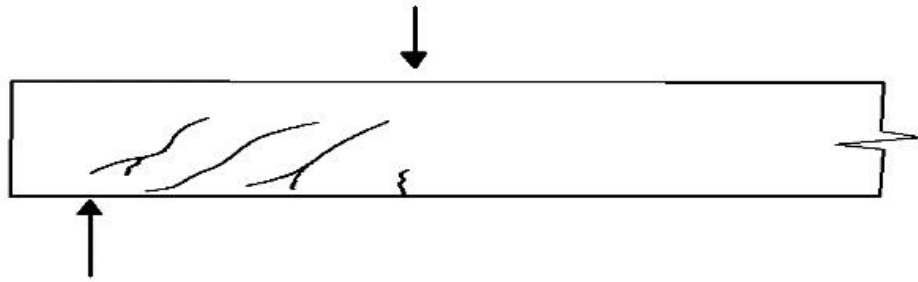


**Gambar 3.16 Pola Retak Lentur Balok**

(Sumber: *Kholilul, 2009*)

## 2. Retak Geser

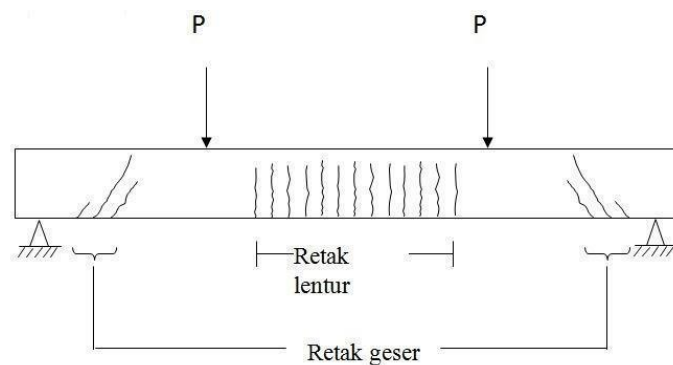
Retak geser merupakan retakan yang secara visual dapat dilihat terjadi secara miring. Berikut merupakan gambar yang menunjukkan ilustrasi dari jenis keretakan ini.



**Gambar 3.17 Pola Retak Geser Balok**  
(Sumber: Kholilul, 2009)

## 3. Retak Geser Lentur

Retak geser lentur merupakan retakan yang secara visual dapat dilihat terjadi dengan perpaduan antara retakan geser dan retakan lentur. Berikut merupakan gambar yang menunjukkan ilustrasi dari jenis keretakan ini.

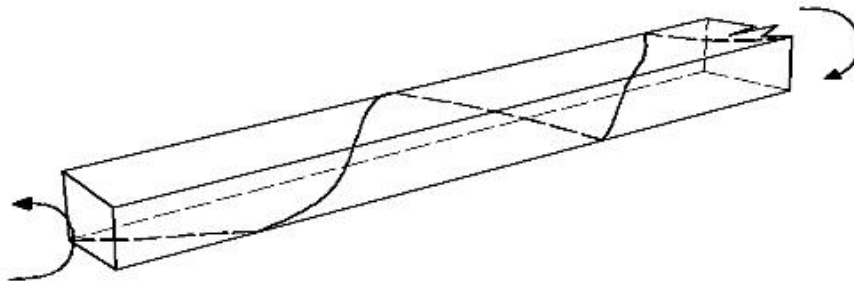


**Gambar 3.18 Pola Retak Geser Lentur**  
(Sumber: Kholilul, 2009)

## 4. Retak Puntir

Retak puntir merupakan retakan yang secara visual dapat dilihat memiliki kemiripan dengan pola retak geser. Perbedaan di antara keduanya adalah retak puntir terjadi secara melingkar terhadap penampang. Jika gaya putar (torsi) terjadi pada penampang balok yang tidak ditulangi, maka akan muncul retakan

dan keruntuhan sepanjang garis spiral bersudut 45 derajat. Berikut merupakan gambar yang menunjukkan ilustrasi dari jenis keretakan ini.

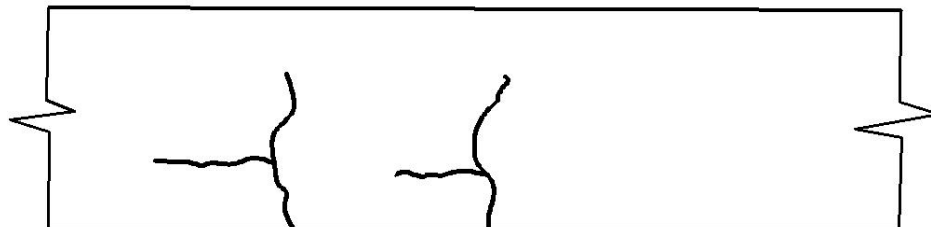


**Gambar 3.19 Pola Retak Puntir**

(Sumber: *Kholilul, 2009*)

#### 5. Retak Lekatan

Retak lekatan merupakan retak yang secara visual dapat dilihat terjadi di antara beton dan tulangan. Retak ini diakibatkan pembebanan yang dapat memisahkan beton dengan baja tulangan, sehingga terjadi retakan di sepanjang baja tulangan tersebut. Berikut merupakan gambar yang menunjukkan ilustrasi dari jenis keretakan ini.



**Gambar 3.20 Pola Retak Lekatan**

(Sumber: *Kholilul, 2009*)

### 3.10 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Berdasarkan Bachtiar Ibrahim di dalam buku Rencana dan Estimate Real of Cost (1993), RAB merupakan besarnya jumlah biaya diperlukan di dalam pelaksanaan suatu proyek. Rencana anggaran biaya pada penelitian ini mencakup analisis kepada biaya jasa, biaya bahan, dan biaya-biaya lain yang berhubungan dengan penelitian ini. Metode untuk menghitung RAB dalam penelitian ini akan menggunakan penelitian Pungky (2020) sebagai referensi.

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Tinjauan Umum**

Adalah sebuah metode atau langkah terpakai untuk melaksanakan penelitian agar proses penelitian bisa diteliti secara mudah dan sederhana dalam memproses dan memahami data yang diperoleh. Metode penelitian harus dapat menggambarkan keseluruhan rancangan penelitian dengan jelas seperti bahan/material penelitian, alat, sumber data hingga prosedur yang akan ditempuh.

Metode yang diimplementasikan dalam penelitian ini berupa metode pengujian atau metode eksperimen. Menurut Sugiyono (2018) Metode penelitian pengujian atau eksperimen berupa metode penelitian yang diterapkan untuk mengetahui efek, akibat, ataupun pengaruh dari tindak laku tertentu pada suatu objek dalam variabel yang dikendalikan atau suatu kondisi yang dikendalikan. Pengujian akan dilakukan pada dua sampel uji lalu kemudian dinalisis untuk mengetahui perbandingan efisiensi dari sambungan baja tulangan metode lewatan dan sambungan baja tulangan metode mekanis dalam menahan beban dalam kondisi yang sama terhadap harga yang dibutuhkan untuk menahan beban yang ditentukan.

#### **4.2 Variabel Penelitian**

Berupa sebuah karakter, sifat, ataupun nilai dari kegiatan, orang, ataupun objek yang memiliki sebuah keberagaman tertentu yang diatur oleh pelaku penelitian atau peneliti untuk diteliti dan dipelajari dan selanjutnya dibuat kesimpulannya.

Penelitian ini memiliki dua variabel yang berbeda, antara lain:

##### **1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)**

Berupa variabel yang mempengaruhi, memiliki dampak ataupun menjadi sebuah sebab dari perubahan dan atau munculnya variabel terikat (Sugiyono, 2019). Variabel bebas pada penelitian ini berupa sambungan lewatan,

sambungan mekanis berjenis *coupler*, tulangan baja, dan agregat kasar dan halus.

## 2. Variabel terikat (*Dependent Variable*)

Berdasarkan Sugiyono (2019) variabel terikat ialah sebuah variabel yang menjadi sebuah akibat atau dipengaruhi oleh sebab hadirnya variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini merupakan kuat tekan ( $f'_c$ ) beton serta kuat tarik baja tulangan.

### 4.3 Metode Pengumpulan Data

Berdasarkan Arikunto (2002) Data penelitian adalah semua bentuk angka dan fakta yang bisa dibuat sebuah dasar atau acuan atau bahan untuk menyusun suatu informasi. Untuk melaksanakan proses analisis, dibutuhkan data-data yang memiliki kaitannya dengan penelitian. Data-data itu bisa diperoleh dari macam-macam sumber dan cara yang berbeda. Sumber-sumber dan cara pengumpulan data dari penelitian ini bisa dilihat berikut ini.

#### 1. Data Primer

Data primer yang didapatkan dari penelitian berasal dari pengujian atau eksperimen. Data primer yang ada pada penelitian ini meliputi data pembebanan pada setiap pengujian, durasi pembebanan, dan data berat balok beton bertulang.

#### 2. Data Sekunder

Berdasarkan Sugiyono (2012) Data Sekunder berupa sebuah data yang didapatkan dengan melakukan kegiatan pembacaan, pembelajaran, pemahaman yang dilakukan melalui media lain yang dapat diperoleh dari dokumen, buku, dan atau literatur lainnya. Data sekunder yang ada pada penelitian ini berasal dari Standar Nasional Indonesia (SNI) serta jurnal penelitian yang berkaitan dengan penelitian ini.

### 4.4 Bahan yang Digunakan

Material yang dipakai dalam penelitian bisa dilihat antara lain:

#### 1. Material Beton Bertulang:

- a. *Portland cement* tipe 1.



- b. Agregat kasar dan halus yang berasal dari Sungai Progo.
  - c. Air yang berasal dari Laboratorium Teknologi dan Bahan Konstruksi Universitas Islam Indonesia.
  - d. Baja tulangan utama berprofil ulir dengan diameter D13 berjumlah dua (2D13) dan baja tulangan pokok berprofil polos dengan diameter P10 berjumlah dua (2P10), serta tulangan sengkang berdiameter P18 dengan spasi 150 mm (P8-150).
2. Sambungan mekanis berjenis *rebar coupler*.

#### 4.5 Peralatan Penelitian

Peralatan yang dipakai dalam penelitian diperoleh dari Laboratorium Teknologi dan Bahan Konstruksi Universitas Islam Indonesia. Alat-alat yang dipakai antara lain:

1. *Mixer* atau pengaduk beton.
2. Bekisting berdimensi 150 x 300 x 2000 mm berbahan multiplex.
3. Neraca berkapasitas 20 kg.
4. Vibrator saringan dan saringan.
5. Alat pencetak benda uji silinder berdimensi 150 mm dan tinggi 300 mm.
6. Alat uji tekan (*Compression Testing Machine*).
7. *Crane* yang digunakan untuk mempermudah perpindahan benda uji balok.
8. *Load cell* digunakan untuk pembacaan beban yang terjadi pada beton.
9. *Data logger* yaitu alat yang dipakai untuk membaca sekaligus memperlihatkan data dari hasil pengujian.
10. Wadah, ember, kuas, oli, cangkul, sekop, oven, alat uji *slump*, palu, dan alat pembantu lainnya.
11. *Linear Variable Differential Transformer* (LVDT) atau sensor LVDT.
12. *Strain Gauge*

#### 4.6 Tahapan Penelitian

Dalam tahapan-tahapannya, penelitian ini akan memakai sampel uji kuat tekan beton memiliki tujuan untuk mendapatkan mutu beton rencana berbentuk silinder yang berdiameter 150 mm serta tinggi 300 mm sebanyak tiga buah untuk

tiap sambungan yang direncanakan serta mutu beton sebesar  $f'_c = 25$  MPa. Lalu, sampel uji kuat lentur dengan bentuk balok berdimensi 150 x 300 x 2000 mm berjumlah satu buah untuk setiap jenis sambungan. Benda uji balok tersebut ditulangi dengan 2 tulangan polos berdiameter 10 mm di daerah tekannya dan 2 tulangan ulir berdiameter 13 mm di daerah tariknya yang kemudian diikat dengan sengkang berdiameter 8 mm dengan jarak 150 mm.

Berikut adalah tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian, antara lain:

#### 1. Tahap Persiapan

Tahap ini berisi persiapan alat-alat serta material yang dipakai dalam proses pembuatan sampel uji silinder dan balok.

##### a. Agregat halus dan agregat kasar

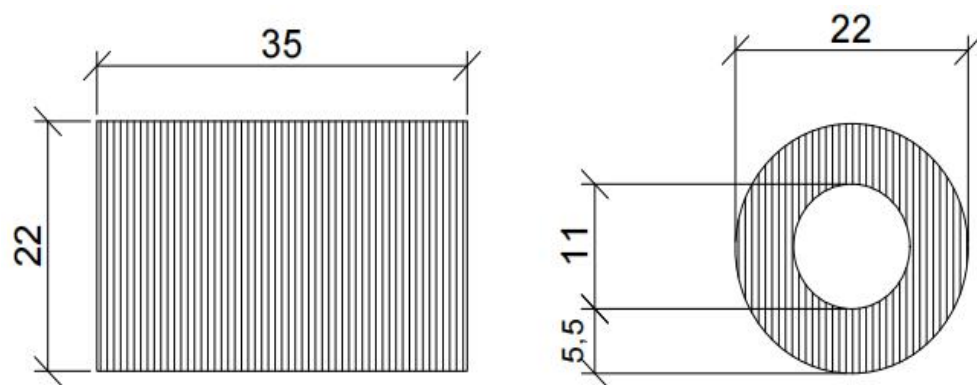
Dalam pembuatan sampel uji dibutuhkan material berupa agregat kasar dan halus yang sebelumnya telah dilakukan pencucian agregat serta didiamkan hingga mencapai keadaan *Saturated Surface Dry (SSD)*, yaitu keadaan kering jenuh permukaan atau keadaan dimana pada rongga-rongga agregatnya terisi dengan air, namun pada permukaan agregatnya kering. Keadaan SSD ini dimaksudkan agar tidak terjadi penambahan atau pengurangan pada kadar air di dalam campuran beton.

##### b. Baja tulangan

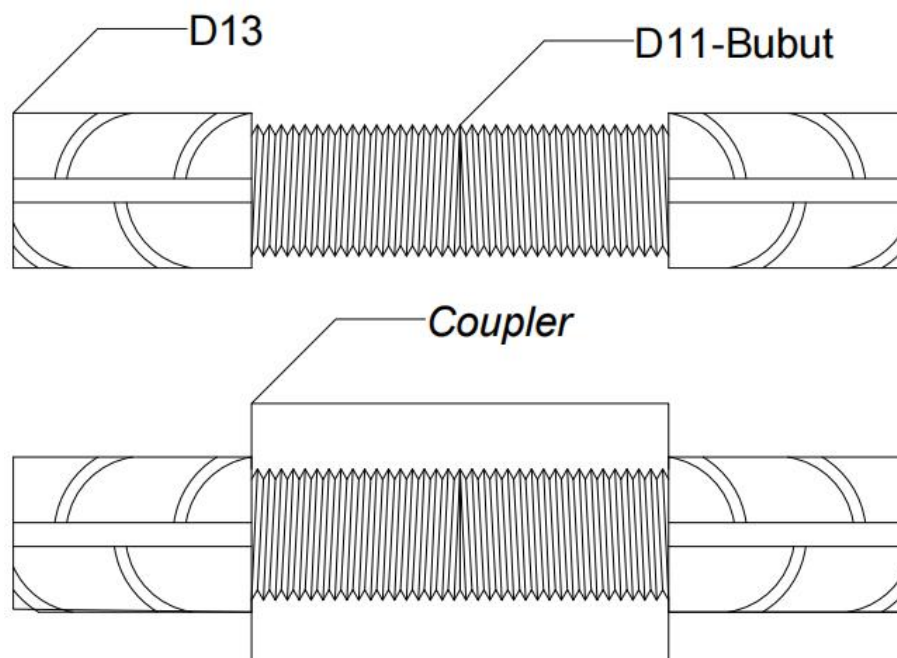
Baja tulangan yang dipasang merupakan tulangan polos yang ditanami di dalam daerah tekan, serta tulangan ulir yang ditanami di dalam daerah tarik. Penelitian ini menggunakan tulangan polos P10 dan tulangan ulir D13 dengan merek *Krakatao Steel* karena memiliki toleransi yang lebih sedikit dibandingkan merk lain.

##### c. Material Sambungan Mekanis *Coupler*

Berikut merupakan gambar 4.1 dan 4.2 yang menunjukkan desain *coupler* yang dipakai dalam penelitian.



**Gambar 4.1 Tampak Samping dan Depan Coupler**



**Gambar 4.2 Tampak Samping Coupler Tersambung dengan Tulangan**

d. Desain Tulangan pada Balok

Dalam perencanaan desain tulangan pada balok, ada beberapa pengecekan yang perlu dilalui agar karakteristik balok dapat diketahui dan ditentukan. Dalam penelitian ini, dikehendaki baja tulangan daerah tarik dapat leleh sebelum beton memperoleh regangan ultimit nya. Oleh karena itu, balok direncanakan sebagai balok bertipe *under-reinforced concrete*. Dalam merencanakan *under-reinforced concrete* ini, luas tulangan efektif balok perlu dihitung hingga sebisa mungkin mendekati kondisi As minimumnya.

Diasumsikan desain tulangan 2D13 untuk tulangan tarik, dan 2P10 untuk tulangan desak. Berikut merupakan perhitungan Asmaks serta Asmin balok.

#### 1. Titik Berat Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} ds &= sb + \phi_s + (0,5 \times \phi_p) \\ &= 40 + 8 + (0,5 \times 12,7) \\ &= 54,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - ds \\ &= 300 - 54,5 \\ &= 245,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### 2. Titik Berat Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} ds' &= sb + \phi_s + (0,5 \times \phi_p) \\ &= 40 + 8 + (0,5 \times 10) \\ &= 53 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### 3. As Tekan dan As Tarik

$$\begin{aligned} As' \text{ Tekan} &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times \phi_p^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\ &= 157,079 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As \text{ Tarik} &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times \phi_p^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 12,7^2 \\ &= 265,464 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As \text{ Efektif} &= As - As' \\ &= 265,464 - 157,079 \\ &= 108,384 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

#### 4. Asmaks dan Asmin

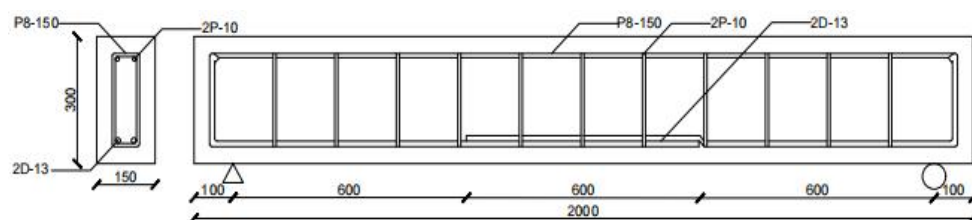
$$\begin{aligned} As \text{ Maksimum} &= 0,025 \times b \times d \\ &= 0,025 \times 150 \times 245,5 \\ &= 920,625 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As \text{ Minimum 1} &= 0,25 \times \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} \times b \times d \\ &= 0,25 \times \frac{\sqrt{21,43}}{476,26} \times 150 \times 245,5 \end{aligned}$$

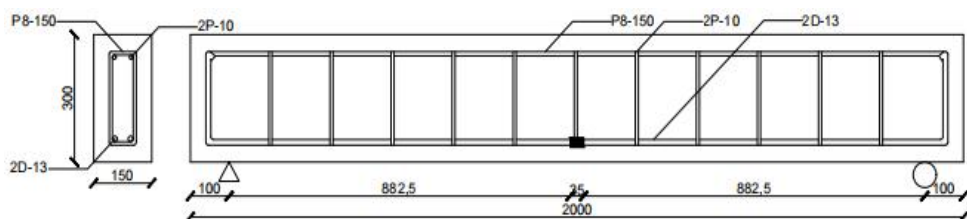
$$\begin{aligned}
 &= 89,484 \text{ mm}^2 \\
 \text{As Minimum 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{1,4}{476,26} \times 150 \times 245,5 \\
 &= 108,249 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan, asumsi 2D13 dan 2P10 telah terhitung memiliki As efektif yang mendekati As minimum. Dari perhitungan tersebut, ditetapkan desain tulangan balok adalah 2D13 untuk daerah tarik dan 2P10 untuk tulangan tekan.

Selain perencanaan As efektif, penelitian ini juga membutuhkan perencanaan panjang penyaluran sambungan lewatan daerah tarik. Nantinya, panjang penyaluran tersebut dapat dihitung setelah mendapatkan data *real* mutu baja tulangan yang akan dipakai berdasarkan uji laboratorium. Berikut merupakan DED tulangan pada balok dengan 2D13 sebagai tulangan tarik, 2P10 sebagai tulangan desak, P8-150 sebagai tulangan geser, memakai sambungan lewatan, dan sambungan *coupler* yang bisa diperhatikan seperti gambar 4.2 dan gambar 4.3.



**Gambar 4.3 Desain Rencana Balok Sambungan Lewatan**



**Gambar 4.4 Desain Rencana Balok Sambungan Coupler**

e. Pembuatan Bekisting Balok

Bekisting untuk balok menggunakan bahan utama multiplex dengan tebal 9 mm. Selain itu di setiap sisi bekisting diperkuat menggunakan kayu reng tebal 30 mm.

2. Tahap Pengujian Material

Dalam tahap ini dilaksanakan pemeriksaan dan pengujian kepada agregat kasar dan halus, baja tulangan, dan tulangan yang disambung dengan *coupler*.

a. Pengujian Agregat Halus

- 1) Uji Berat Jenis Agregat Halus.
- 2) Uji Gradasi Agregat Halus.
- 3) Uji Berat Volume Padat/Gembur Agregat Halus.
- 4) Uji Kadar Lumpur Agregat Halus.

b. Pengujian Agregat Kasar

- 1) Uji Berat Jenis Agregat Kasar.
- 2) Uji Gradasi Agregat Kasar.
- 3) Uji Berat Volume Gembur serta Padat Agregat Kasar.
- 4) Uji Kadar Lumpur Agregat Kasar.

c. Pengujian Kuat Tarik Baja

Uji tarik baja memakai alat *Universal Testing Machine* (UTM). Uji baja dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh tegangan maksimal baja dan tegangan lelehnya guna mengetahui apakah nilai yang telah ditetapkan dapat diraih. Penarikan baja dengan UTM dapat mengetahui reaksi baja terhadap tarikan dan mengetahui sejauh mana panjang baja itu dapat bertambah sebelum baja tersebut patah.

3. Tahap *Mix Design*

Perhitungan *trial mix design* berpegangan kepada SNI 03-2834-2000. Perhitungan ini dimaksudkan agar didapatkan jumlah kebutuhan material-material penyusun campuran beton dengan tepat. Di bawah ini adalah tahap-tahap dalam menghitung *mix design*:

a. Mutu target beton,  $f'c = 25$  MPa.

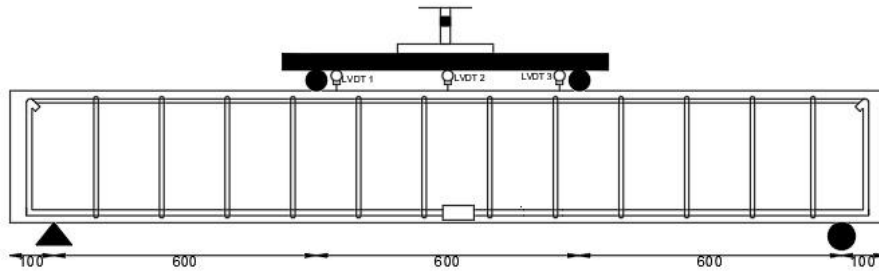
- 1) Mempersiapkan *portland cement* tipe 1.

- 2) Mempersiapkan agregat kasar.
  - 3) Mempersiapkan agregat halus yang berasal dari Sungai Progo.
  - 4) Menetapkan nilai FAS sesuai tabel 3.2 dan gambar 3.1.
  - 5) Menetapkan nilai *slump* beton sebesar 70-140 mm.
  - 6) Menetapkan nilai kadar air bebas.
  - 7) Menghitung kebutuhan jumlah semen setiap 1 m<sup>3</sup> beton.
  - 8) Menghitung kebutuhan persentase agregat kasar dan halus.
  - 9) Menghitung kebutuhan proporsi campuran setiap material.
    - a) Proporsi pasir dan kerikil (agregat gabungan).
    - b) Proporsi pasir (agregat halus).
    - c) Proporsi kerikil (agregat kasar).
  - 10) Menghitung jumlah kebutuhan susunan proporsi campuran dalam satuan 1 meter kubik (m<sup>3</sup>) beton.
    - a) Semen.
    - b) Air.
    - c) Agregat halus.
    - d) Agregat kasar.
  - 11) Menghitung volume campuran yang dibutuhkan benda uji silinder dan balok.
  - 12) Menghitung jumlah kebutuhan susunan proporsi campuran dalam setiap benda uji silinder dan balok.
    - a) Semen.
    - b) Air.
    - c) Agregat halus.
    - d) Agregat kasar.
4. Tahap Pembuatan Sampel Uji Silinder dan Balok Beton Bertulang
- a. Menyiapkan benda uji yang mencakup silinder beton berdiameter 150 mm serta tinggi 300 mm sebanyak tiga buah untuk tiap 1 sampel balok serta balok beton bertulang berdimensi 150 x 300 x 2000 mm dengan jumlah 2 buah dengan tipe sambungan lewatan dan sambungan *coupler*.
  - b. Menyiapkan bekisting sesuai dimensi balok beton yang telah direncanakan

- c. Melapisi permukaan pada bagian dalam bekisting dan silinder beton dengan cairan oli atau pelumas agar memudahkan pelepasan bekisting saat pengecoran selesai.
  - d. Memberi kode pada 6 benda uji silinder beton dengan kode masing-masing BSL-1, BSL-2, BSL-3 dan BSM-1, BSM-2, BSM-3.
  - e. Memberi kode pada dua benda uji balok beton bertulang. Kode masing-masing balok sambungan lewatan adalah BBLe, sedangkan pada balok sambungan *coupler* adalah BBCo.
  - f. Merakit konfigurasi tulangan pada tiap bekisting sesuai jenis sambungannya.
  - g. Meletakkan konfigurasi tulangan yang telah dirakit pada tengah bentang bekisting.
  - h. Melakukan pengecoran pada sampel uji silinder beton dan sampel uji balok beton yang telah ditulangi dengan tiap jenis sambungan.
5. Tahap Perawatan Benda Uji
- Setelah 3 hari, balok beton bertulang yang telah dicor akan dilepas dari bekistingnya dan dilanjutkan dengan melepas cetakan beton silinder yang sudah sampai waktu 2 hari setelah penuangan campuran beton ke dalam cetakan silinder. Setelah itu dilanjutkan perawatan benda uji balok dengan memakai kain atau karung goni yang diguyur oleh air setiap harinya selama 28 hari.
6. Tahap Pengujian Benda Silinder dan Balok Beton Bertulang
- a. Pengujian benda uji beton silinder memakai mesin *Compression Testing Machine* dengan tujuan mengetahui nilai kuat tekan beton. Lalu, meskipun mutu beton tidak mencapai kuat tekan rencana, jika mutu  $f_c'$  kedua sampel masih lebih dari persyaratan kekuatan tekan pada tabel 19.2.1.1 Batasan nilai  $f_c'$  SNI 2847:2019 dengan kegunaan umum yaitu 17 MPa, maka pengujian tetap dilanjutkan.
  - b. Pengujian benda uji balok beton yang ditulangi dengan tiap tipe sambungan dilaksanakan dengan uji kuat lentur. Uji tersebut dilaksanakan dengan memberikan tambahan memakai pompa hidraulik untuk menambahkan beban terhadap balok. Pengujian balok beton ini dilakukan dengan



menambahkan beban yang memotong sumbu memanjang balok (beban vertikal) berupa beban terpusat/titik ganda (*two point loads*). Berikut merupakan ilustrasi yang menunjukkan beban terpusat ganda pada balok yang ditulangi dengan sambungan.



**Gambar 4.5 Beban Terpusat Ganda (*two point loads*) Pada Benda Uji Balok**

#### 7. Tahap Analisis Data

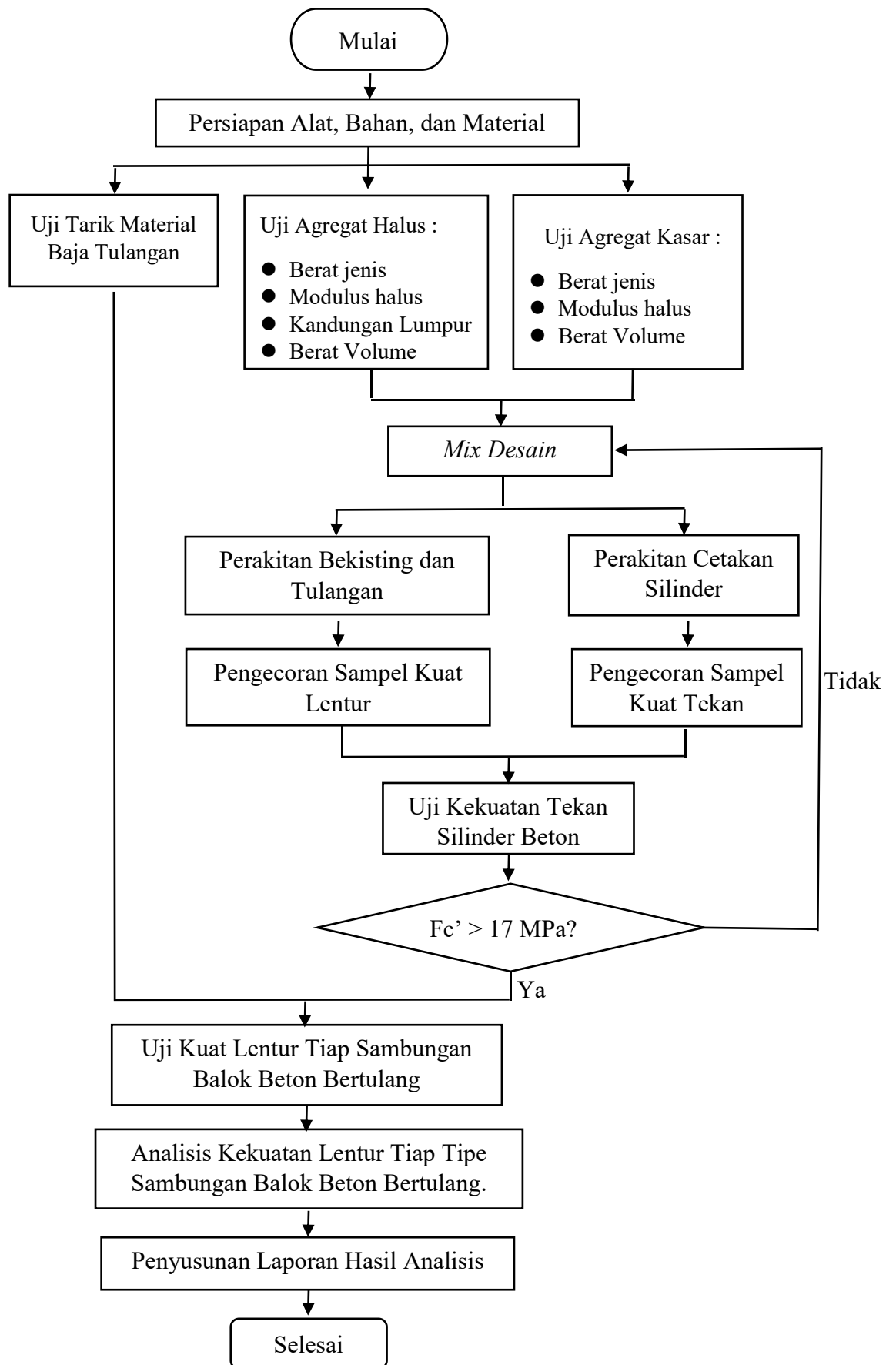
Tahapan ini berfokus pada perhitungan analisis pada pengujian-pengujian yang dikerjakan pada benda uji.

#### 8. Tahap Laporan dan Penarikan Kesimpulan

Pembahasan dan hasil analisis disusun sedemikian rupa dalam bentuk Tugas Akhir lalu dilakukan penarikan kesimpulan dari hasil penelitian yang memiliki hubungan dengan tujuan dari Tugas Akhir ini.

#### 4.7 Bagan Alir Penelitian

Berikut merupakan gambar 4.6 yang menunjukan tahapan yang akan dilalui dalam penelitian ini.



**Gambar 4.6 Bagan Alir Penelitian**

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Pengujian Material

Pengujian ini adalah serangkaian pengujian pada material-material yang dipakai. Pengujian ini dilaksanakan untuk memperoleh karakteristik material. Karakteristik tersebut kemudian dibandingkan dengan syarat campuran beton yang terdapat pada SNI 03-2834-2000.

##### 5.1.1 Pengujian Agregat Kasar

Pengujian ini dilaksanakan pada penelitian ini, mencakup uji modulus halus butir (MHB), uji berat jenis serta penyerapan, dan uji berat volume. Berikut merupakan hasil yang didapatkan.

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

Berikut merupakan Tabel 5.1 yang menunjukkan hasil dari pengujian.

**Tabel 5.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar**

Uraian		Hasil (gram)
Berat pasir kering mutlak	(Bk)	4941
Berat pasir kondisi jenuh kering permukaan (SSD)	(Bj)	5000
Berat kerikil dalam air	(Ba)	3130
Berat jenis curah	1	
$Bk / (Bj - Ba)$		2,470
Berat jenis jenuh kering muka	2	
$Bj / (Bj - Ba)$		2,674
Berat jenis semu	3	
$Bk / (Bk - Ba)$		2,728
Penyerapan air	4	
$(Bj - Bk) / Bk \times 100\%$		1,19%

Hasil pengolahan dari pengujian ini mendapatkan nilai SSD agregat kasar sebesar 2,674. Lalu nilai rasio penyerapan air sebesar 1,19%. Dari data yang didapatkan disimpulkan bahwa SSD agregat kasar dapat dipakai.

## 2. Pengujian Modulus Halus Butir (MHB)

Berikut merupakan tabel 5.2 yang menunjukkan hasil pengujian serta perhitungan MHB.

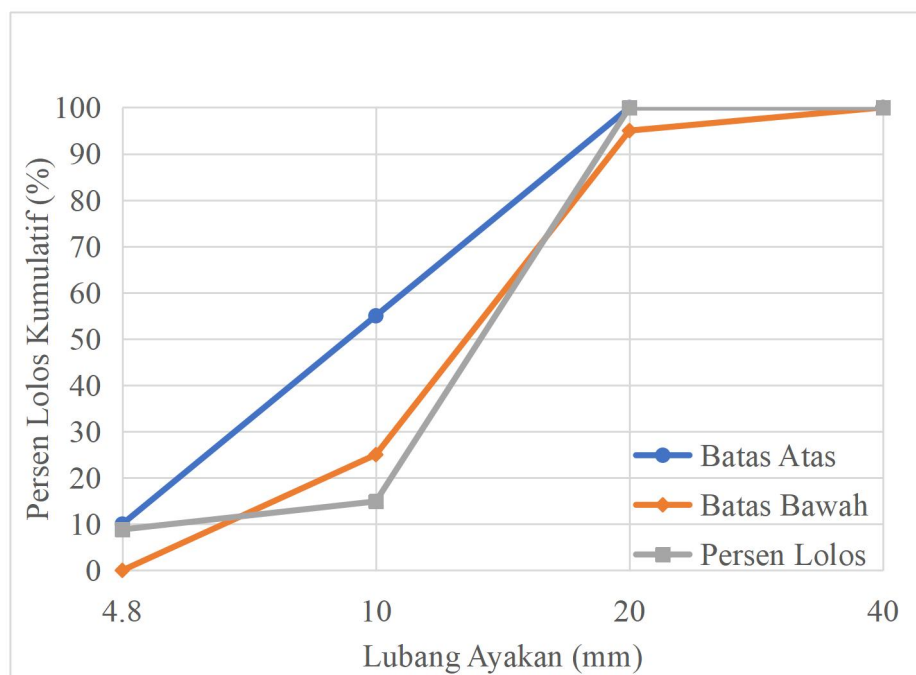
**Tabel 5.2 Pengujian Modulus Halus Butir**

Saringan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	4257	85,106	85,106	14,894
4,8	303	6,058	91,164	8,836
2,4	287	5,738	96,901	3,099
1,2	4	0,080	96,981	3,019
0,6	66	1,319	98,301	1,699
0,3	0	0	98,301	1,699
0,15	0	0	98,301	1,699
Pan	85	1,699	100	0
Jumlah	5002	100	665,054	234,946

Dari tabel 5.1 di atas dihasilkan nilai MHB berikut:

$$\text{MHB} = \frac{665,054}{100} = 6,651$$

Data MHB di atas kemudian di analisis lalu disajikan ke dalam bentuk grafik. Penelitian ini memakai besar agregat terbesar 20 mm. Berikut merupakan gambar 5.1 yang menunjukkan grafik agregat terbesar 20 mm dengan hasil pengujian agregat kasar yang sesuai dengan SNI-2834-2000.



**Gambar 5.1 Analisis Saringan Agregat Kasar**

### 3. Uji Berat Volume Agregat Kasar

#### a. Uji Berat isi Gembur Agregat Kasar

Berikut merupakan tabel 5.3 yang menunjukkan hasil pengujian.

**Tabel 5.3 Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar**

Uraian	Satuan	Nilai
Berat tabung (w1)	gram	10734
Berat tabung + agregat kering oven (w2)	gram	18535
Berat agregat (w3)	gram	7794
Volume tabung (v)	cm <sup>3</sup>	5228,556
Berat volume gembur (w3 / v)	gram/cm <sup>3</sup>	1,491

Pengolahan data dari pengujian ini menghasilkan berat volume gembur agregat kasar sebesar 1,491 gram/cm<sup>3</sup>. Nilai ini telah masuk dalam kriteria SNI-03-4804-1998 yaitu di antara 1,2 - 1,7.

#### b. Uji Berat Isi Padat Agregat Kasar

Berikut merupakan tabel 5.4 yang menunjukkan hasil pengujian.

**Tabel 5.4 Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar**

Uraian	Satuan	Nilai
Berat tabung (w1)	gram	10734
Berat tabung + agregat kering oven (w2)	gram	18939
Berat agregat (w3)	gram	8204
Volume tabung (v)	cm <sup>3</sup>	5227,556
Berat volume gembur (w3 / v)	gram/cm <sup>3</sup>	1,569

Pengolahan data dari pengujian ini menghasilkan berat volume gembur agregat kasar sebesar 1,569 gram/cm<sup>3</sup>. Nilai ini telah masuk dalam kriteria SNI-03-4804-1998 yaitu di antara 1,2 - 1,7.

#### 5.1.2 Uji Agregat Halus

Pengujian agregat kasar yang dilaksanakan dalam penelitian ini meliputi uji modulus halus butir (MHB), uji berat jenis serta penyerapan, uji berat volume, dan uji kadar lumpur. Berikut merupakan hasil yang didapatkan.

##### 1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan

Berikut merupakan tabel 5.5 yang menunjukkan hasil pengujian.

**Tabel 5.5 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus**

Uraian		Hasil (gram)
Berat pasir kering mutlak, gram	(Bk)	477
Berat pasir kondisi jenuh kering permukaan (SSD), gram		500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram	(Bt)	969
Berat piknometer berisi air, gram	(B)	659
Berat jenis curah = $Bk / (B + 500 - Bt)$	1	2,511
Berat jenis jenuh kering muka = $500 / (B + 500 - Bt)$	2	2,632
Berat jenis semu = $Bk / (B + Bk - Bt)$	3	2,856
Penyerapan air = $(500 - Bk) / Bk \times 100\%$	4	4,822

Hasil pengolahan dari pengujian ini mendapatkan nilai SSD agregat halus sebesar 2,632. Lalu nilai rasio penyerapan air sebesar 4,822%. Dari data yang didapatkan disimpulkan bahwa SSD agregat halus dapat dipakai.

## 2. Uji Modulus Halus Butir (MHB)

Berikut merupakan tabel 5.6 yang menunjukkan hasil uji dan perhitungan MHB.

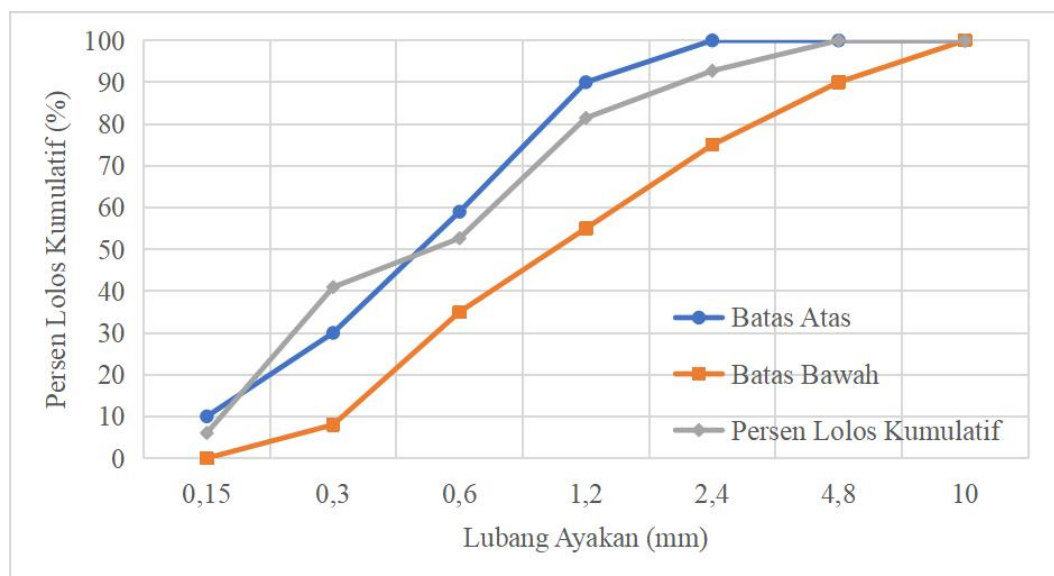
**Tabel 5.6 Pengujian Modulus Halus Butir**

<b>Saringan (mm)</b>	<b>Berat Tertinggal (gram)</b>	<b>Berat Tertinggal (%)</b>	<b>Berat Tertinggal Kumulatif (%)</b>	<b>Persen Lolos Kumulatif (%)</b>
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	0	0	0	100
2,4	145	7,268	7,268	92,732
1,2	225	11,278	18,546	81,454
0,6	575	28,882	47,368	52,632
0,3	233	11,679	59,048	40,952
0,15	697	34,937	93,985	6,015
Pan	120	6,015	100	0
Jumlah	1995	100	226,216	373,784

Dari tabel 5.1 di atas dihasilkan nilai MHB berikut:

$$\text{MHB} = \frac{226,216}{100} = 2,262$$

Data MHB di atas kemudian di analisis lalu disajikan ke dalam bentuk grafik. Penelitian ini memakai agregat halus Sungai Progo bergradasi II. Berikut merupakan gambar 5.2 yang menunjukkan grafik agregat gradasi II dengan hasil pengujian agregat halus.



**Gambar 5.2 Analisis Saringan Agregat Halus**

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

Berikut merupakan tabel 5.7 yang menunjukkan hasil uji serta perhitungan kandungan lumpur agregat halus.

**Tabel 5.7 Pengujian Kandungan Lumpur**

Uraian		Hasil
Berat Agregat Kering Oven, gram	(w1)	500
Berat Agregat Kering Oven setelah Dicuci, gram	(w2)	484
Berat Lolos Saringan No. 200, persen		3,20

Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan nilai kandungan lumpur pada material pasir Sungai Progo sebesar 3,20%. Nilai ini masih berada di bawah syarat maksimum sebesar 5%.

### 4. Uji Berat Volume

#### a. Uji Berat Isi Gembur Agregat Halus

Berikut merupakan tabel 5.8 yang menunjukkan hasil pengujian.



**Tabel 5.8 Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus**

<b>Uraian</b>	<b>Satuan</b>	<b>Nilai</b>
Berat tabung (w1)	gram	10742
Berat tabung + agregat kering oven (w2)	gram	18871
Berat agregat (w3)	gram	8125
Volume tabung (v)	cm <sup>3</sup>	5313,713
Berat volume gembur (w3 / v)	gram/cm <sup>3</sup>	1,529

Pengolahan data dari pengujian ini menghasilkan berat volume gembur agregat halus sebesar 1,529 gram/cm<sup>3</sup>. Nilai ini telah masuk dalam kriteria SNI-03-4804-1998 yaitu di antara 1,2 - 1,7.

b. Uji Berat Isi Padat Agregat Halus

Berikut merupakan tabel 5.9 yang menunjukkan hasil pengujian.

**Tabel 5.9 Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus**

<b>Uraian</b>	<b>Satuan</b>	<b>Nilai</b>
Berat tabung (w1)	gram	10742
Berat tabung + agregat kering oven (w2)	gram	19164
Berat agregat (w3)	gram	8422
Volume tabung (v)	cm <sup>3</sup>	5313,713
Berat volume gembur (w3 / v)	gram/cm <sup>3</sup>	1,585

Pengolahan data dari pengujian ini menghasilkan berat volume gembur agregat halus sebesar 1,585 gram/cm<sup>3</sup>. Nilai ini telah masuk dalam kriteria SNI-03-4804-1998 yaitu di antara 1,2 - 1,7.

### 5.1.3 Pengujian Baja Tulangan

Uji ini dimaksudkan agar dapat tahu nilai mutu leleh dari baja tulangan yang akan dipakai dalam penelitian. Baja tulangan yang diuji merupakan baja tulangan yang bertempat dalam daerah tarik. Jenis baja tulangan yang diuji merupakan baja tulangan tanpa sambungan serta baja tulangan dengan sambungan mekanis berjenis *coupler*.

### 1. Pengujian Baja Tulangan tanpa Sambungan

Berikut merupakan gambar 5.3 yang menunjukkan kerusakan baja tulangan tanpa sambungan setelah pengujian kuat tarik.



**Gambar 5.3 Kersakan Baja Tulangan tanpa Sambungan**

Berikut merupakan perhitungan hasil pengujian.

#### a. Beban Leleh ( $P_y$ )

$$\begin{aligned} P_y &= P_y \times \text{Angka Konversi Kgf ke Newton} \\ &= 6150 \times 9,81 \\ &= 60332 \text{ N} \end{aligned}$$

#### b. Beban Tertinggi/Ultimit ( $P_u$ )

$$\begin{aligned} P_u &= P_y \times \text{Angka Konversi Kgf ke Newton} \\ &= 8100 \times 9,81 \\ &= 79461 \text{ N} \end{aligned}$$

#### c. Diameter Tulangan ( $d$ )

$$d = 12,7 \text{ mm}$$

#### d. Luas Baja ( $A$ )

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 12,7^2 \\ &= 126,677 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

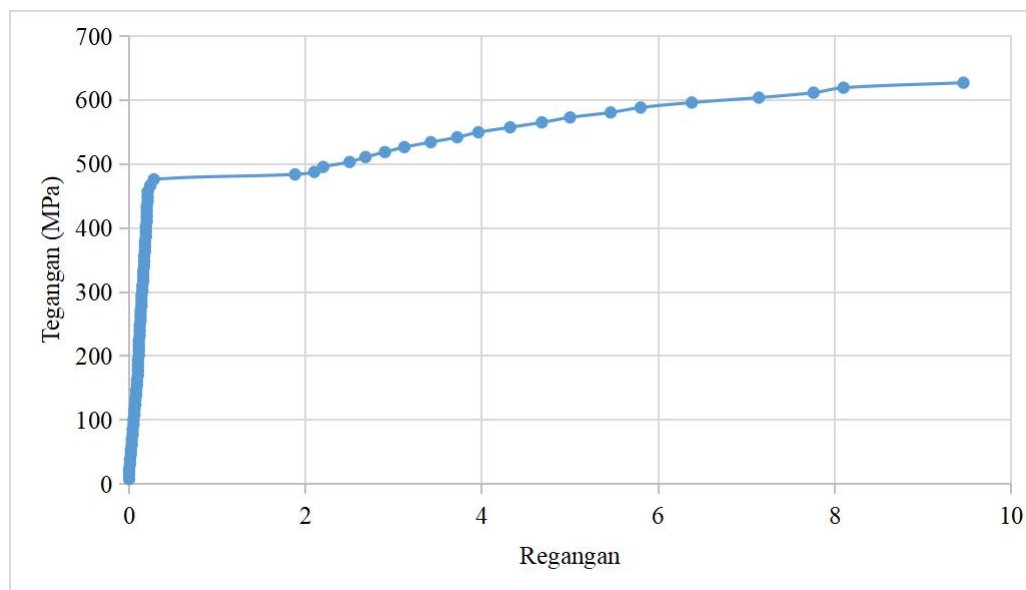
#### e. Tegangan Leleh ( $f_y$ )

$$\begin{aligned}
 f_y &= \frac{P_y}{A} \\
 &= \frac{60332}{126,677} \\
 &= 476,26 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

f. Tegangan Ultimit ( $f_u$ )

$$\begin{aligned}
 f_u &= \frac{P_u}{A} \\
 &= \frac{79461}{126,677} \\
 &= 627,273 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dalam proses desain, direncanakan penggunaan baja tulangan D13. Akan tetapi, setelah dilakukan pengukuran ulang sesaat sebelum pengujian dilakukan, didapatkan D12,7. Hasil pengujian tarik berupa nilai  $f_y$  sebesar 476,26 MPa serta besar  $f_u$  senilai 627,273 MPa. Hasil perhitungan kemudian disajikan pada grafik seperti pada gambar 5.4.



**Gambar 5.4 Hubungan Tegangan Vs Regangan Baja Tulangan tanpa Sambungan**

## 2. Pengujian Baja Tulangan dengan Sambungan Coupler

Rusak yang terjadi akibat uji tarik pada baja tulangan menggunakan sambungan *coupler* adalah patahan. Terjadinya patahan ini dapat disebabkan oleh adanya pembubutan serta pengurangan diameter tulangan menjadi 11 mm Berikut

merupakan gambar 5.5 yang menunjukkan kerusakan baja tulangan tanpa sambungan setelah pengujian kuat tarik.



**Gambar 5.5 Kerusakan Baja Tulangan dengan Sambungan**

Berikut merupakan perhitungan hasil pengujian.

a. Beban Leleh ( $P_y$ )

$$\begin{aligned} P_y &= P_y \times \text{Angka Konversi Kgf ke Newton} \\ &= 4500 \times 9,81 \\ &= 44145 \text{ N} \end{aligned}$$

b. Beban Ultimit ( $P_u$ )

$$\begin{aligned} P_u &= P_y \times \text{Angka Konversi Kgf ke Newton} \\ &= 5400 \times 9,81 \\ &= 52974 \text{ N} \end{aligned}$$

c. Diameter Tulangan ( $d$ )

$$d = 11 \text{ mm}$$

d. Luas Baja ( $A$ )

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 11^2 \\ &= 95,0332 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

e. Tegangan Leleh ( $f_y$ )

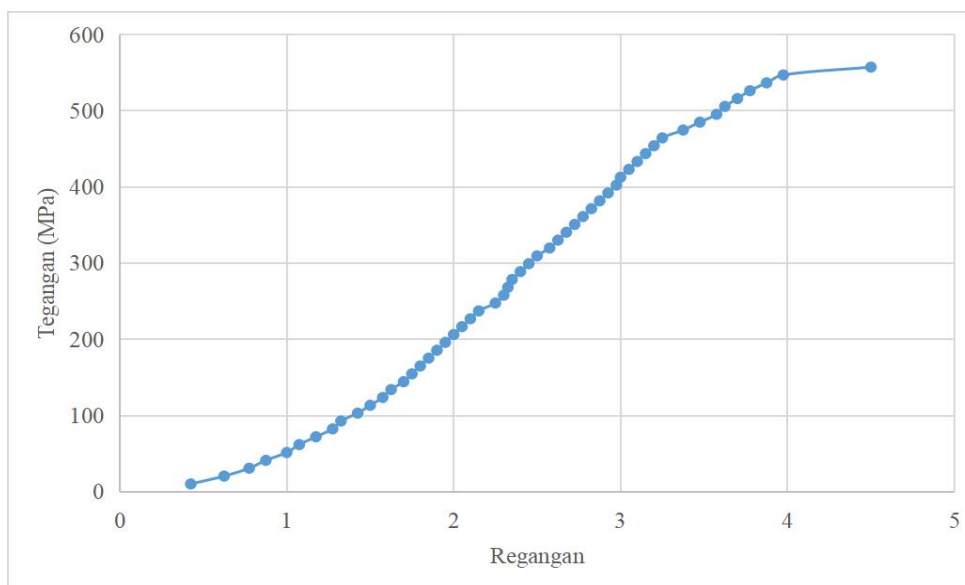
$$f_y = \frac{P_y}{A}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{44145}{126,677} \\
 &= 464,522 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

f. Tegangan Ultimit ( $f_u$ )

$$\begin{aligned}
 f_u &= \frac{P_u}{A} \\
 &= \frac{52974}{126,677} \\
 &= 557,426 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dalam proses desain, direncanakan penggunaan baja tulangan D13. Akan tetapi, setelah dilakukan pengukuran ulang sesaat sebelum pengujian dilakukan, didapatkan D12,7. D12,7 tersebut kemudian dibubut untuk dipasang dengan *coupler* menjadi D11. Hasil uji tarik baja tulangan menggunakan sambungan *coupler* berupa nilai  $f_y$  sebesar 464,522 MPa dan nilai  $f_u$  sebesar 557,426 MPa. Hasil perhitungan kemudian disajikan pada grafik seperti pada gambar 5.4.



**Gambar 5.6 Hubungan Tegangan Vs Regangan Baja Tulangan dengan Sambungan**

### 3. Rekapitulasi Hasil Uji Tarik Baja Tulangan

Berikut merupakan tabel 5.10 yang menunjukkan rekapitulasi hasil pengujian.

**Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Pengujian Baja Tulangan**

<b>Jenis Tulangan</b>	<b>Fy Rencana (MPa)</b>	<b>Fy (MPa)</b>	<b>Fu (MPa)</b>
D13 Normal	420	476,26	627,27
D13 Coupler	420	464,522	557,426

Berdasarkan hasil pengujian, pada baja tulangan D13 Normal didapatkan mutu fy sebesar 476,26 MPa dan mutu fu sebesar 627,27 MPa. Sedangkan pada baja tulangan D13 Coupler, didapatkan mutu fy sebesar 464,522 MPa dan mutu fu sebesar 557,426 MPa. Kedua sampel mendapatkan mutu fy yang lebih besar dari mutu rencana.

Pada baja tulangan D13 Coupler, hasil yang diperoleh pada penelitian ini identik dengan hasil yang diperoleh oleh Cho, et al (2021). Dalam penelitian Cho, et al (2021) didapatkan mutu fy 600D32 Coupler sebesar 640 MPa dengan mutu rencana 600 MPa serta mutu fy 600D32 sebesar 651 MPa dengan mutu rencana 600 MPa.

Kedua penelitian mendapatkan mutu fy pengujian baja tulangan yang disambung dengan Coupler lebih besar dari mutu rencana, namun masih lebih kecil dari mutu baja tulangan tanpa sambungan.

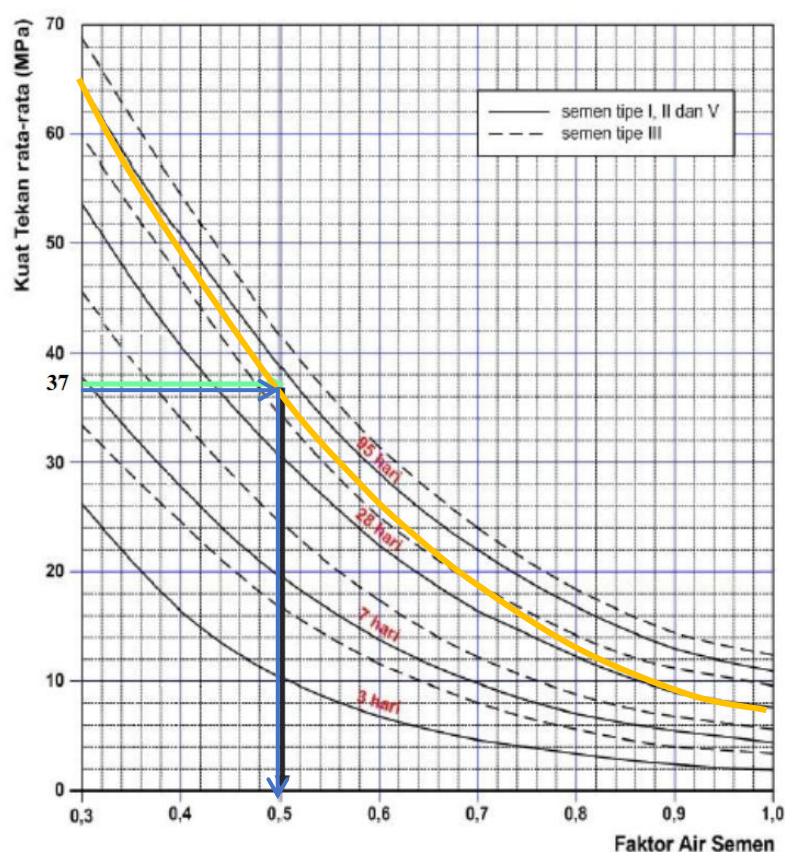
## 5.2 Perhitungan Proporsi Campuran Beton

Penulis memakai acuan SNI 03-2834-2000 untuk merencanakan mutu kuat tekan beton rencana sebesar 25 MPa. Sampel uji kuat tekan yang dipakai untuk mengetahui apakah kuat tekan telah tercapai adalah sampel uji silinder dengan dimensi 150 × 300 mm. Berikut merupakan perhitungan dari *mix design* yang dipakai.

1. Menetapkan kuat tekan rencana dengan sampel uji silinder sebesar 25 MPa.
2. Menetapkan semen PCC dengan merek Semen Gresik.
3. Menetapkan ukuran maksimum agregat kasar sebesar 20 mm.
4. Menetapkan daerah gradasi agregat halus berupa daerah gradasi 2.

5. Menetapkan jumlah sampel uji kuat tekan berjumlah 6 silinder dengan rincian 3 silinder per 1 sampel uji balok. Berdasarkan tabel 3.1, apabila jumlah sampel uji kuat tekan tidak lebih dari 15, maka nilai margin (nilai tambah) kuat tekan rencana ditetapkan sebesar 12 MPa.
6. Menetapkan kuat tekan rencana.
 
$$f_{cr} = 25 + 12$$

$$= 37 \text{ MPa}$$
7. Menetapkan nilai faktor air semen (FAS)
  - a. Berdasarkan tabel 3.2, dengan menggunakan sampel uji silinder dengan jenis semen Portland Tipe I dan jenis agregat kasar batu pecah diketahui kekuatan tekan (MPa) pada umur 28 hari sebesar 37 MPa.
  - b. Berikut merupakan gambar 3.1 yang digunakan untuk menetapkan FAS.



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

**Gambar 5.7 Hubungan Kuat Tekan dengan FAS**

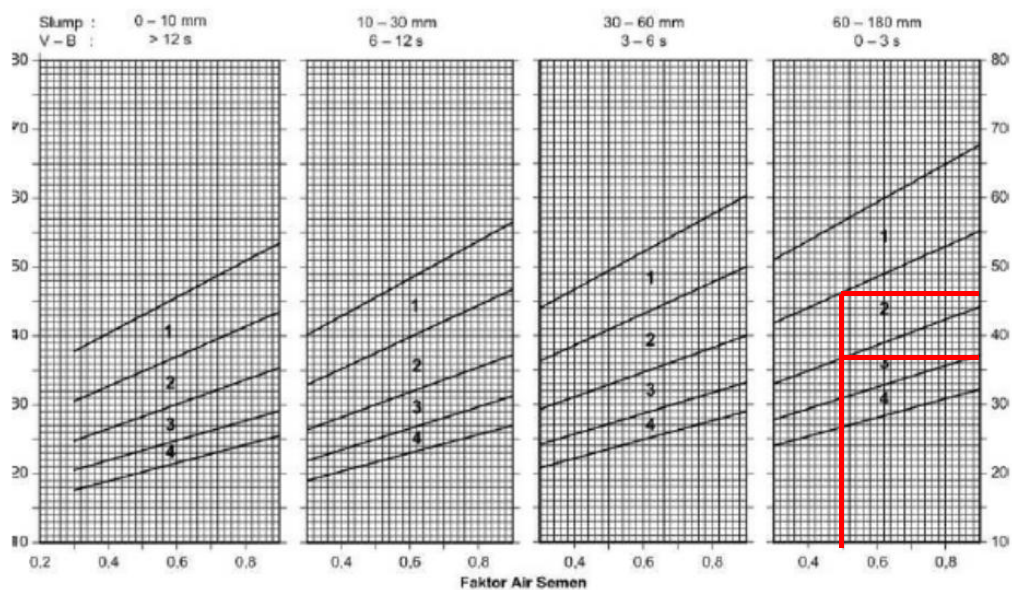
Berdasarkan grafik tersebut, dapat ditetapkan nilai FAS sebesar 0,5. Selain berdasarkan grafik tersebut, nilai FAS harus sesuai persyaratan pada tabel 3.4. Beton di dalam ruangan bangunan serta lingkungan tidak korosif memiliki nilai maksimum FAS sebesar 0,6. Penulis menetapkan nilai FAS sebesar 0,5.

8. Menetapkan nilai *slump* rencana dalam rentang 60 - 180 mm. Penulis memakai 70 - 150 mm.
9. Menetapkan nilai kadar air bebas berdasarkan tabel 3.3 dengan ukuran maksimum agregat kasar sebesar 20 mm, jenis agregat batu pecah, dan nilai *slump* dalam rentang 60 - 180 mm, didapatkan nilai kadar air bebas dalam rentang 195 - 225 kg/m<sup>3</sup>. Penulis memakai 205 kg/m<sup>3</sup>.
10. Menetapkan jumlah semen dalam 1 m<sup>3</sup> beton.
  - a. Kadar semen ditetapkan dengan persamaan 3.4.

$$\begin{aligned} \text{Kadar semen} &= \frac{\text{Kadar Air Bebas}}{\text{FAS}} \\ &= \frac{205}{0,5} \\ &= 410 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- b. Berdasarkan tabel 3.4, pada beton yang berada pada ruang bangunan dengan lingkungan tidak korosif dapat ditetapkan jumlah semen minimum per m<sup>3</sup> beton sebesar 275 kg/m<sup>3</sup>.
11. Menetapkan kadar agregat halus berdasarkan gambar 3.2 dengan menggunakan nilai *slump* dalam rentang 60 - 180 mm serta butir agregat yang ada di dalam gradasi 2, dapat ditetapkan persen agregat seperti pada gambar di berikut.





Grafik 14: Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 20 mm

### Gambar 5.8 Persentase Agregat Halus

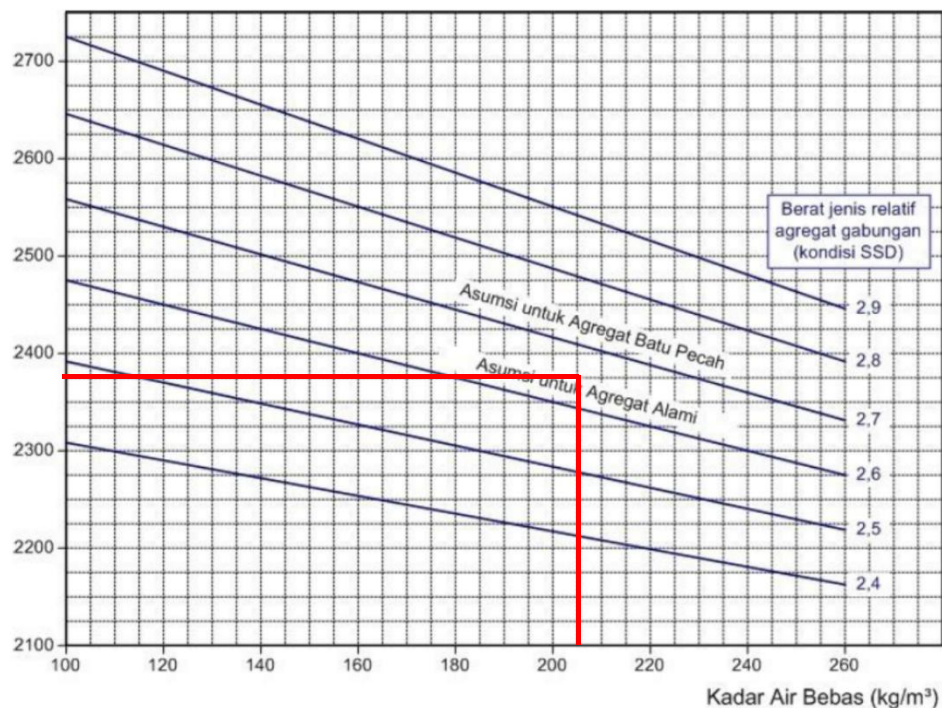
$$\begin{aligned} \text{Agregat Halus} &= \frac{46 + 37}{2} \times 100\% \\ &= 41,5\% \end{aligned}$$

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

12. Menetapkan berat jenis gabungan berdasarkan hasil pengujian berat jenis agregat kasar dan halus.

$$\begin{aligned} B_{JG} &= \left( \frac{\%AK}{100} \times B_{JAK} \right) + \left( \frac{\%AH}{100} \times B_{JAH} \right) \\ &= \left( \frac{58,5\%}{100} \times 2,674 \right) + \left( \frac{41,5\%}{100} \times 2,632 \right) \\ &= 2,657 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

13. Menetapkan berat isi beton basah berdasarkan gambar 3.3 serta  $B_{JG}$ . Diperoleh nilai berat isi beton basah sebesar  $2375 \text{ kg/m}^3$ . Berikut merupakan gambar 5.9 yang menunjukkan penarikan nilai tersebut.



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

### Gambar 5.9 Berat Isi Beton Basah

14. Menetapkan proporsi tiap-tiap material di dalam campuran beton.

a. Proporsi agregat gabungan = Berat isi beton - kadar semen - kadar air  
 $= 2375 - 410 - 205$   
 $= 1760 \text{ kg/m}^3$

b. Proporsi agregat kasar =  $\frac{\%AK}{100} \times \text{Kadar agregat gabungan}$   
 $= \frac{58,5\%}{100} \times 1760$   
 $= 1029,6 \text{ kg/m}^3$

c. Proporsi agregat halus =  $\frac{\%AH}{100} \times \text{Kadar agregat gabungan}$   
 $= \frac{41,5\%}{100} \times 1760$   
 $= 730,4 \text{ kg/m}^3$

15. Menetapkan susunan material dalam 1 m<sup>3</sup> beton.

a. Semen = 410 kg

b. Air = 205 kg

c. Agregat Kasar = 1029,6 kg

d. Agregat Halus = 731 kg

16. Menghitung volume tiap sampel uji.

$$\begin{aligned} \text{a. Vol. Silinder} &= \frac{1}{4} \times d^2 \times h \\ &= \frac{1}{4} \times 0,15^2 \times 0,3 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Vol. Balok} &= b \times h \times l \\ &= 0,15 \times 0,3 \times 2 \\ &= 0,09 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

17. Menetapkan nilai penyusutan. Nilai penyusutan ini mengantisipasi adanya faktor *human error* yang dapat terjadi di dalam proses pengecoran seperti kesalahan perhitungan, menempelnya campuran di dalam *mixer*, tumpahnya campuran, dan lain-lain. Penulis menetapkan nilai penyusutan sebesar 25% dari setiap material campuran. Berikut merupakan perhitungan jumlah tiap material setelah penambahan faktor penyusutan.

a. Sampel Uji Silinder

$$\begin{aligned} \text{1) Semen} &= 410 \times 125\% \times 0,0053 \\ &= 2,716 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{2) Air} &= 205 \times 125\% \times 0,0053 \\ &= 1,358 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{3) Agregat Kasar} &= 731 \times 125\% \times 0,0053 \\ &= 6,824 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{4) Agregat Halus} &= 1030 \times 125\% \times 0,0053 \\ &= 4,843 \text{ kg} \end{aligned}$$

b. Sampel Uji Balok

$$\begin{aligned} \text{1) Semen} &= 410 \times 125\% \times 0,09 \\ &= 46,125 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{2) Air} &= 205 \times 125\% \times 0,09 \\ &= 23,063 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{3) Agregat Kasar} &= 731 \times 125\% \times 0,09 \\ &= 115,875 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4) \text{ Agregat Halus} &= 1030 \times 125\% \times 0,09 \\
 &= 82,238 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

### 5.3 Perhitungan Data Mix Design

Penelitian ini menggunakan enam sampel uji kuat tekan dengan rincian tiga sampel kuat tekan untuk setiap satu sampel kuat lentur. Sampel pengujian kuat tekan adalah silinder dengan dimensi  $150 \times 300$  mm. Pengujian dilakukan setelah silinder melewati masa *curing* beton yang kemudian didiamkan selama satu hari sebelum pengujian. Sesaat sebelum pengujian, silinder terlebih dahulu dilapisi dengan *caping* dengan tujuan perataan permukaan silinder agar beban dapat disalurkan dengan baik. Pengujian ini dilakukan dengan alat mesin uji tekan. Pengujian pada sampel pengujian tekan ini dimaksudkan untuk mendapat berapa nilai mutu kuat tekan beton yang nantinya akan dianggap mewakili nilai mutu kuat tekan beton pada sampel kuat lentur. Berikut merupakan gambar 5.10 yang menunjukkan uji kuat tekan silinder.



**Gambar 5.10 Pengujian Kuat Tekan Silinder**

Berikut merupakan perhitungan salah satu sampel uji tekan silinder.

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Diameter (d)} &= 151,5 \text{ mm} \\
 2. \text{ Luas (A)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 151,5^2
 \end{aligned}$$

$$= 18026,655 \text{ mm}^2$$

3. Beban (P) = 380000 N

4.  $f'c$

$$= \frac{P}{A}$$

$$= \frac{380000}{18026,655}$$

$$= 21,080 \text{ MPa}$$

Ketiga sampel dari setiap variasi yang telah dihitung kemudian dirata-rata yang nantinya, hasil dari rata-rata tersebut yang dianggap mewakili nilai kuat tekannya. Berikut tabel 5.11 yang menunjukkan rekapitulasi perhitungan dari hasil pengujian yang telah dirata-rata.

**Tabel 5.11 Rekapitulasi Perhitungan Hasil Pengujian**

Sampel Uji Silinder	Mutu Beton, $f'c$ (MPa)	Mutu Beton Rata-Rata, $f'c$ (MPa)
Lewatan 1	25,400	21,426
Lewatan 2	21,080	
Lewatan 3	17,798	
Coupler 1	23,299	21,648
Coupler 2	17,106	
Coupler 3	24,538	

Dari tabel 5.11, disimpulkan bahwa kedua sampel uji silinder yang mewakili sampel uji balok lewatan dan *coupler* tidak mencapai mutu yang ditargetkan, yaitu  $f'c$  25 MPa. Tidak tercapainya mutu rencana ini dipercaya karena kurangnya kontrol terhadap karakteristik agregat halus dalam aspek kadar lumpur. Pada saat pengujian kadar lumpur, agregat halus yang diambil berada di tumpukan paling atas sedangkan pada saat pembuatan sampel silinder, agregat halus yang diambil berada di bagian bawah mendekati tanah. Hal ini dipercaya menyebabkan peningkatan kadar lumpur lebih dari hasil uji kandungan lumpur dalam pengujian agregat halus. Akan tetapi, mutu  $f'c$  kedua sampel masih lebih dari persyaratan kekuatan tekan pada tabel 19.2.1.1 Batasan nilai  $f'c$  SNI 2847:2019 dengan kegunaan umum yaitu 17 MPa, oleh karena itu pengujian tetap dilanjutkan.

## 5.4 Perhitungan Sambungan Tulangan

### 5.4.1 Sambungan Tulangan Lewatan

Berikut merupakan perhitungan panjang penyaluran sambungan lewatan yang didasarkan pada SNI 2847:2019.

#### 1. Menetapkan nilai panjang penyaluran ( $\ell_d$ )

##### a. Diketahui:

$$F_y = 476,263 \text{ MPa}$$

$$F'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$D_b = 13 \text{ mm}$$

$$\lambda = 1 \text{ (Beton Normal)}$$

$$\Psi_e = 1 \text{ (Tanpa Epoksi)}$$

$$\Psi_t = 1 \text{ (Posisi Pengecoran Lain)}$$

$$\Psi_s = 0,8 \text{ (Penggunaan Diameter Tulangan Lebih Kecil dari 19 mm)}$$

##### b. Pasal 25.4.2.2

$$\begin{aligned} \ell_d &= \left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \\ &= \left( \frac{476,263 \times 1 \times 1}{2,1 \times 1 \times \sqrt{25}} \right) \times 13 \\ &= 636,883 \text{ mm} \end{aligned}$$

##### c. Pasal 25.4.2.3

$$\begin{aligned} \ell_d &= \left( \frac{f_y}{1,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left( \frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b \\ &= \left( \frac{476,263}{1,1 \times 1 \times \sqrt{25}} \frac{1 \times 1 \times 0,8}{\left( \frac{54 + 0}{13} \right)} \right) \times 13 \\ &= \left( \frac{476,263}{1,1 \times 1 \times \sqrt{25}} \frac{1 \times 1 \times 0,8}{(2,5)} \right) \times 13 \\ &= 360,228 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019, persamaan 25.4.2.3a mencakup segala pengaruh variabel yang mengontrol panjang penyaluran tulangan. Oleh karena itu, nilai yang diambil untuk  $\ell_d$  merupakan nilai dari pasal 25.4.2.3.

#### 2. Menetapkan nilai panjang penyaluran daerah tarik ( $\ell_{st}$ )

##### a. Diketahui:

$$\ell_d = 360,228 \text{ mm}$$

#### b. Panjang penyaluran daerah tarik

Maksimum persentase tulangan yang dipasang dalam balok pada penelitian ini lebih dari 50% serta sama dengan 100% atau semua tulangan yang terpasang disambung dengan sambungan lewatan. Oleh sebab itu, sambungan lewatan diambil dari nilai terbesar di antara  $1,3\ell_d$  dan 300 mm

$$\begin{aligned} 1) \ell_{st} &= 300 \text{ mm} \\ 2) \ell_{st} &= 1,3\ell_d \\ &= 1,3 \times 360,228 \\ &= 468,2964 \text{ mm} \end{aligned}$$

Didapatkan nilai terbesar untuk  $\ell_{st}$  adalah 468,2964 mm. Untuk simplifikasi desain, penulis memakai panjang penyaluran tulangan lewatan sebesar 480 mm.

#### 5.4.2 Sambungan Tulangan Coupler

Dalam pemakaian sambungan ini, tidak ada perhitungan yang dilakukan. Tulangan yang akan disambung berada pada tengah bentang balok di daerah tarik. Tulangan tersebut dipotong menjadi dua bagian yang kemudian dibubut di setiap ujungnya agar dapat dipasang dengan *coupler* seperti pada gambar 4.2. *Coupler* yang dipasang adalah hasil fabrikasi dengan nilai  $f_y$  rencana sebesar 500 MPa serta nilai  $f_y$  pengujian sebesar 530 MPa. Nilai  $f_y$  rencana serta  $f_y$  pengujian tersebut didapat dari sertifikat *coupler* nya ketika pembelian.

#### 5.4.3 Perhitungan Momen Nominal ( $M_n$ ) Teoritis

Berikut merupakan perhitungan  $M_n$  teoritis dari sampel uji balok lewatan.

Diketahui:

Lebar, B	= 150 mm
Tinggi, H	= 300 mm
Selimit Beton, $S_b$	= 40 mm
Mutu Beton, $f'_c$	= 21,426 MPa
Mutu Baja, $f_y$	= 476,263 MPa
Modulus Elastisitas Baja, $E_s$	= 200000 MPa

#### 5. Titik Berat Tulangan Tarik

$$d_s = s_b + \phi_s + (0,5 \times \phi_p)$$

$$= 40 + 8 + (0,5 \times 12,7)$$

$$= 54,5 \text{ mm}$$

$$d = h - ds$$

$$= 300 - 54,5$$

$$= 245,5 \text{ mm}$$

#### 6. Titik Berat Tulangan Tekan

$$ds' = sb + \phi_s + (0,5 \times \phi_p)$$

$$= 40 + 8 + (0,5 \times 10)$$

$$= 53 \text{ mm}$$

#### 7. As Tekan dan As Tarik

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

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2$$

$$= 157,079 \text{ mm}^2$$

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

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 12,7^2$$

$$= 265,464 \text{ mm}^2$$

#### 8. Jarak tepi balok daerah desak ke garis netral berdasarkan prinsip keseimbangan (diasumsikan tul. Desak belum leleh).

$$\Sigma H = 0$$

$$Ts = Cs + Cc$$

$$As \times fy = (0,85 \times f'c \times a \times b) + (As' \times fs)$$

$$As \times fy = (0,85 \times f'c \times (\beta \times c) \times b) + (As' \times \left(\frac{Es}{c} \times (c - ds') \times Es\right))$$

$$265,464 \times 476,263 = (0,85 \times 21,426 \times (0,85 \times c) \times 150) + (157,079 \times \left(\frac{0,003}{c} \times$$

$$(c - 53) \times 200.000\right))$$

$$126430,681 = 2322,043c + (157,079 \times \left(\frac{600}{c} \times (c - 53)\right))$$

$$126430,681 = 2322,043c + (157,079 \times (600 - \frac{31800}{c}))$$

$$126430,681 = 2322,043c + 94247,4 - \frac{4995112,2}{c}$$

$$126430,681 = 2322,043c + 94247,4 - \frac{4995112,2}{c} \times c$$

$$126430,681c = 2322,043c^2 + 94247,4c - 4995112,2$$

$$0 = 2322,043c^2 + 94247,4c - 126430,681c - 4995112,2$$



$$\begin{aligned}
0 &= 2322,043c^2 - 32183,281c - 4995112,2 \\
c &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
&= \frac{-(-32183,281c) \pm \sqrt{(-32183,281c)^2 - (4 \times 2322,043c^2 \times (-4995112,2))}}{2 \times 2322,043c^2} \\
c1 &= 53,826 \text{ mm} \\
c2 &= -39,965 \text{ mm} \\
c \text{ pakai} &= 53,826 \text{ mm} \\
a &= \beta \times c \\
&= 0,85 \times 53,826 \\
&= 45,752 \text{ mm}
\end{aligned}$$

#### 9. Regangan tarik baja.

$$\begin{aligned}
Dt &= H - ds \\
&= 300 - 54,5 \\
&= 245,5 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_t &= ((\beta_1 \times dt - a)/a) \times \varepsilon_c \\
&= ((0,85 \times 245,5 - 45,752) / 45,752) \times 0,003 \\
&= 0,011 > 0,005 \text{ (Terkontrol Tarik)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\
&= \frac{476,26}{200.000} \\
&= 0,00238
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_s &= \left(\frac{d-c}{c}\right) \times \varepsilon_c \\
&= \left(\frac{245 - 53,826}{53,826}\right) \times 0,003 \\
&= 0,0106 < 0,00238 \text{ (Baja Tulangan Tarik Telah Leleh)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{s'} &= \left(\frac{c-ds'}{c}\right) \times \varepsilon_c \\
&= \left(\frac{53,826 - 53}{53,826}\right) \times 0,003 \\
&= 0,00004604 < 0,00238 \text{ (Baja Tulangan Desak Belum Leleh)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_s &= \varepsilon_{s'} \times E_s \\
&= 0,00004604 \times 200.000 \\
&= 9,208 \text{ Mpa}
\end{aligned}$$

## 10. Kapasitas Momen Tulangan

$$M_n = M_{n1} + M_{n2}$$

$$M_{n1} = C_c \times Z_1$$

$$= (0,85 \times f_c' \times a \times b) \times (d - \frac{a}{2})$$

$$= (0,85 \times 21,426 \times 45,752 \times 150) \times (245,5 - \frac{45,752}{2})$$

$$= 27.824.883,237 \text{ Nmm}$$

$$= 27,825 \text{ kNm}$$

$$M_{n2} = C_s \times Z_2$$

$$= (A_s' \times F_s) \times (d - d_s')$$

$$= (157,079 \times 9,208) \times (245,5 - 53)$$

$$= 278.428,810 \text{ Nmm}$$

$$= 0,2784 \text{ kNm}$$

$$M_n = 27,825 + 0,2784$$

$$= 28,103 \text{ kNm}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan  $M_n$  teoritis balok *coupler*. Berikut tabel 5.12 yang menunjukkan rekapitulasi perhitungan  $M_n$  teoritis kedua sampel uji balok.

**Tabel 5.12 Rekapitulasi Perhitungan  $M_n$  Teoritis**

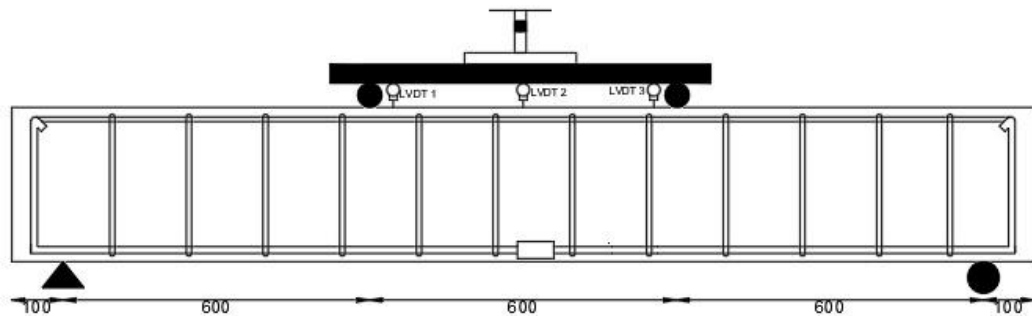
Sampel Uji Balok	$M_n$ Teoritis (kNm)
Lewatan	28,103
Coupler	20,079

## 5.5 Pengujian Kuat Lentur Balok

### 5.5.1 Mekanisme Pembebanan

Mekanisme pembebanan dalam penelitian ini mengacu kepada SNI 4431:2011 menggunakan pembebanan dua titik. Kedua titik beban diposisikan di As bentang balok dengan jarak antara ujung titik beban ke ujung titik beban lain sebesar 1/3 bentang bersih balok. Selanjutnya, alat LVDT diletakan di ketiga titik potensial terjadinya gaya akibat pembebanan, yaitu tepat di kedua titik beban serta di tengah kedua titik beban. Berikut merupakan gambar 5.11 yang menunjukkan

detail mekanisme pembebanan serta gambar 5.12 yang menunjukkan proses pengujian.



**Gambar 5.11 Detail Mekanisme Pembebanan**



**Gambar 5.12 Proses Pengujian Kuat Lentur**

### 5.5.2 Perhitungan Hasil Uji Kuat Lentur Balok

Berikut merupakan pengolahan hasil uji kuat lentur balok serta contoh perhitungan sampel uji balok lewatan.

#### 1. Rumus Dasar

$$M_n \text{ Pengujian} = \text{Gaya} \times \text{Panjang Lengan}$$

Pengolahan hasil pengujian memerlukan beberapa data tentang sampel uji yang diuji. Data tersebut meliputi beban maksimum (P), lengan beban (a), dan nilai beban sendiri yang diakibatkan oleh balok.

#### 2. Berat Sendiri Balok (W)

Nilai berat sendiri balok ( $W$ ) dapat diperoleh dengan mengalikan nilai massa jenis balok ( $\gamma_c$ ) dengan volume balok ( $V$ ). Berikut perhitungan berat balok.

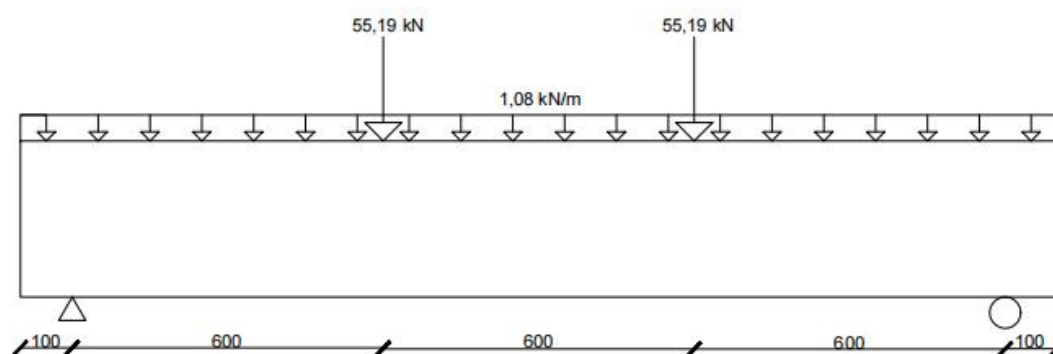
$$\begin{aligned} W_{\text{total}} &= \gamma_c \times V \\ &= 24 \times (0,15 \times 0,30 \times 2) \\ &= 2,16 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berat balok ( $W$ ) tersebut dapat mempengaruhi gaya yang bekerja terhadap balok ( $Q_{dl}$ ). Tergantung kepada volume balok, semakin besar volume maka semakin besar gayanya. Berikut perhitungan gaya yang bekerja terhadap balok.

$$\begin{aligned} Q_{dl} &= \frac{W}{L} \\ &= \frac{2,16}{2} \\ &= 1,08 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

### 3. Pemodelan Balok

Diketahui, beban maksimum yang mampu ditahan sampel uji balok lewatan adalah 110,38 kN. Beban tersebut kemudian dibagi menjadi dua titik beban sebagaimana proses pengujian berlangsung. Nilai  $Q_{dl}$  kemudian didesain dalam model sebagai beban merata. Selanjutnya adalah pemodelan sampel uji. Berikut merupakan gambar 5.13 yang menunjukkan pemodelan sampel uji balok.



**Gambar 5.13 Pemodelan Beban Sampel Uji Balok**

### 4. Perhitungan Momen Nominal Pengujian

Selanjutnya adalah menghitung beban di tumpuan. Dalam menghitung beban di tumpuan, penulis menentukan tinjauan perhitungan RBV dengan berpedoman pada tumpuan A. Penulis menentukan bahwa untuk titik yang berputar searah

jarum jam akan bernilai positif (+), sedangkan untuk titik yang berputar berlawanan arah jarum jam akan bernilai negatif (-).

$$\Sigma RAV = 0$$

$$- (\text{Beban Sendiri Balok} \times \text{Jarak ke A}) + (P \times \text{Jarak ke A}) + (\text{Beban Sendiri Balok} \times \text{Jarak ke A}) + (P \times \text{Jarak ke A}) + (\text{Beban Sendiri Balok} \times \text{Jarak ke A}) - (RBV \times \text{Jarak ke A}) = 0$$

$$- ((24 \times (0,15 \times 0,30 \times 0,10)) \times 0,05) + (55,19 \times 0,6) + ((24 \times (0,15 \times 0,30 \times 0,1,8)) \times 0,90) + (55,19 \times 1,2) + ((24 \times (0,15 \times 0,30 \times 0,10)) \times 1,85) - (RBV \times 1,8) = 0$$

$$101,286 = 1,8 RBV$$

$$RBV = 101,286 / 1,8$$

$$= 56,27 \text{ kN}$$

Dengan perhitungan yang sama, dapat diperoleh beban di tumpuan A dengan berpedoman pada tumpuan B sebesar 56,27 kN. Setelah mengetahui RAV dan RBV, maka selanjutnya dapat diperoleh momen nominal pengujian pada sampel uji balok lewatan seperti berikut ini.

$$\begin{aligned} M_n \text{ Pengujian} &= RAV - \text{Beban Kantilever} - \text{Beban Merata} \\ &= \text{Gaya} \times \text{Panjang Lengan} \\ &= (56,27 \times 0,6) - ((24 \times (0,15 \times 0,30 \times 0,10)) \times 0,65) - \\ &\quad ((24 \times (0,15 \times 0,30 \times 0,9) \times 0,9) \\ &= 33,762 - 0,0702 - 0,1458 \\ &= 33,546 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai momen terbesar sebesar 33,546 kNm. Nilai momen tersebut adalah nilai  $M_n$  pengujian dari sampel uji balok lewatan. Berikut merupakan gambar 5.14 yang menunjukkan Bending Moment Diagram (BMD) nya.



**Gambar 5.14 Bending Moment Diagram (BMD)**

Selanjutnya,  $M_n$  pengujian untuk sampel uji balok *coupler* dihitung dengan cara yang sama. Berikut merupakan tabel 5.13 yang menunjukkan rekapitulasi perhitungan  $M_n$  pengujian.

**Tabel 5.13 Rekapitulasi  $M_n$  Pengujian**

Sampel Balok	$P_{maks}$ (kN)	Lengan Beban (m)	$M_n$ Pengujian (kNm)
Lewatan	110,38	0,6	33,546
Coupler	79,38	0,6	24,246

Berdasarkan pengolahan hasil pengujian,  $M_n$  pengujian yang didapatkan oleh kedua sampel uji memiliki perbedaan. Sampel uji lewatan mendapatkan nilai beban maksimum sebesar 110,38 kN dengan  $M_n$  pengujian sebesar 33,546 kNm sementara sampel uji *coupler* mendapatkan nilai beban maksimum sebesar 79,38 kN dengan  $M_n$  pengujian sebesar 24,246 kNm. Berikut merupakan tabel 5.14 yang menunjukkan rekapitulasi serta rasio  $M_n$  teoritis dengan  $M_n$  pengujian.

**Tabel 5.14 Rekapitulasi Rasio Mn Teoritis dengan Mn Pengujian**

<b>Sampel Balok</b>	<b>Mn Teoritis (kNm)</b>	<b>Mn Pengujian (kNm)</b>	<b>Rasio Perbandingan Mn Pengujian - Teortis</b>
Lewatan	28,103	33,546	1,194
Coupler	20,079	24,246	1,210

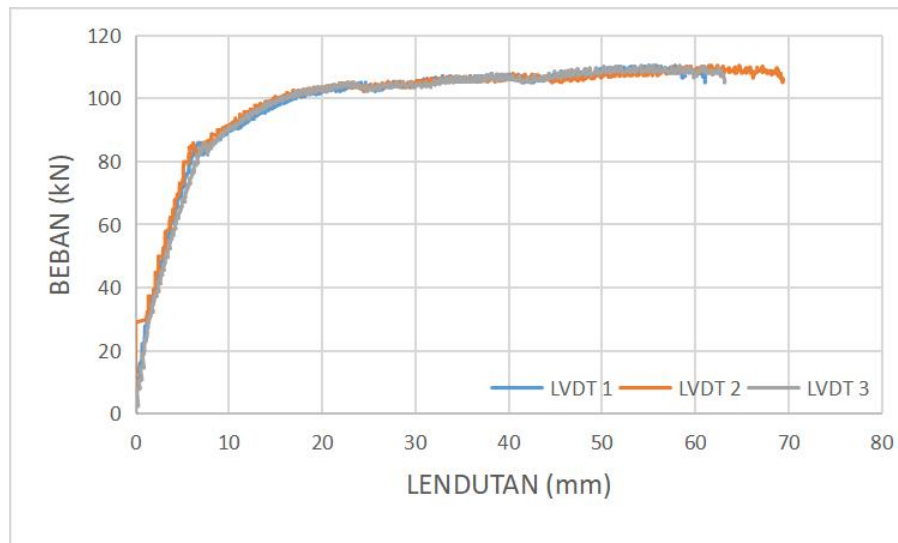
Berdasarkan tabel 5.14, kedua sampel uji balok lewatan dan *coupler* memiliki nilai Mn pengujian yang lebih besar bila dibandingkan dengan Mn teoretis dengan nilai rasio berturut-turut sebesar 1,194 dan 1,210. Mn pengujian yang lebih besar dari Mn teoretis ini dipercaya disebabkan oleh penggunaan tulangan ulir pada sampel uji. Pada perhitungan Mn teoretis, faktor penggunaan jenis tulangan polos ataupun ulir tidak dipertimbangkan. Padahal berdasarkan hasil peneltian Pamungkas (2013), penggunaan tulangan ulir dapat memberikan daya lekat terhadap beton yang lebih besar dibandingkan penggunaan tulangan polos.

## **5.6 Perbandingan di antara Sampel Uji Balok**

### **5.6.1 Respon terhadap Beban serta Lendutan**

#### **1. Sampel Uji Balok Lewatan**

Pada sampel uji balok lewatan, diperoleh beban terbesar yang mampu ditahan balok sebelum keruntuhan sebesar 110,38 kN dengan lendutan terbesar sebesar 69,37 mm. Nilai 69,37 mm didapatkan oleh LVDT 2 yang terpasang di tengah bentang balok seperti pada gambar 4.5. Selanjutnya, LVDT 1 dan LVDT 3 berturut-turut mendapatkan nilai lendutan terbesar sebesar 61,04 mm dan 63,133. Berikut merupakan gambar 5.13 yang menunjukkan grafik beban dengan lendutan pada sampel pengujian balok lewatan.



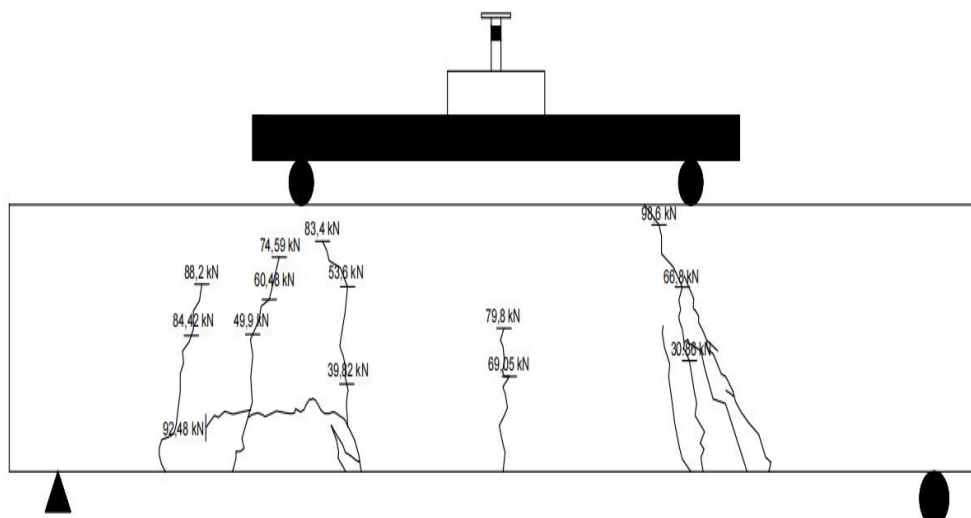
**Gambar 5.15 Beban vs Lendutan Sampel Uji Balok Lewatan**

Berdasarkan gambar 5.15, kelelahan tulangan telah terjadi. Kelelahan tulangan tersebut terjadi pada titik beban 85,930 kN yang selanjutnya terus menurun ke titik beban 82,150 kN hingga akhirnya titik beban mulai naik kembali di titik beban 82,910 kN sampai sampel uji balok lewatan mengalami keruntuhan di titik beban 110,38 kN. Berikut merupakan gambar 5.16 dan 5.17 yang menunjukkan foto dan *sketch* kerusakan yang terjadi pada sampel uji.



**Gambar 5.16 Kerusakan Sampel Uji Balok Lewatan**



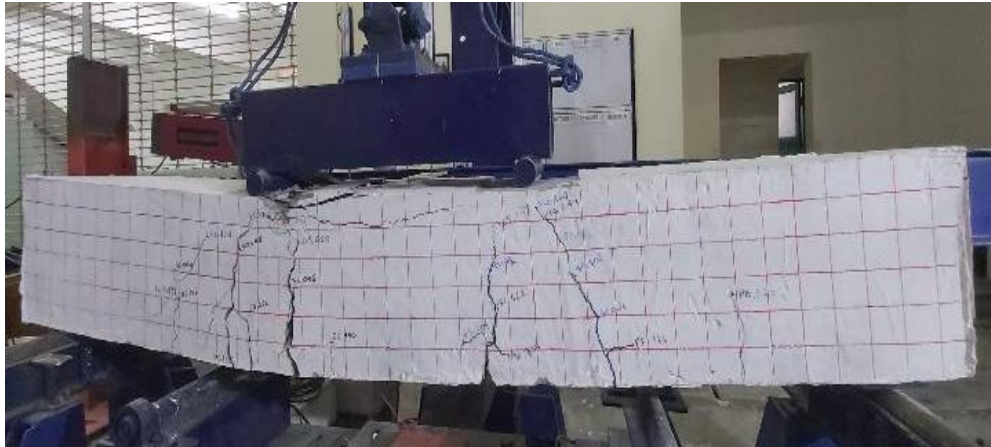


**Gambar 5.17 Sketch Kerusakan Sampel Uji Balok Lewatan**

Berdasarkan gambar 5.15, 5.16, dan 5.17, keruntuhan yang terjadi pada sampel uji ini adalah keruntuhan daktail. Berdasarkan gambar 5.15, ketika pembebanan dilakukan, balok mampu berdeformasi dengan baik setelah pelelehan pertama di titik beban 85,930 kN tanpa harus mengalami pengurangan kapasitas lentur yang besar.

Jenis kerusakan yang terjadi adalah kerusakan geser lentur dan kerusakan lekat. Kerusakan pertama yang terjadi adalah kerusakan geser lentur dengan retakan pertama terjadi di titik beban 39,82 kN. Kerusakan geser lentur dimulai dari daerah tarik yang seiring dengan bertambahnya pembebanan, kerusakan lentur naik ke daerah tekan. Lalu, kerusakan lekatan terjadi tepat di bawah titik pembebanan pada titik beban 82,15 kN.

Kerusakan yang paling besar tidak terjadi di tengah bentang sampel uji balok, melainkan berada di ujung penyaluran  $\ell_{st}$  seperti yang terlihat pada gambar 5.16. Kerusakan yang sama dialami oleh sampel uji balok lewatan dalam penelitian Zaneta (2022). Berikut merupakan gambar 5.18 yang menunjukkan kerusakan sampel uji balok lewatan dalam penelitian Zaneta (2022).

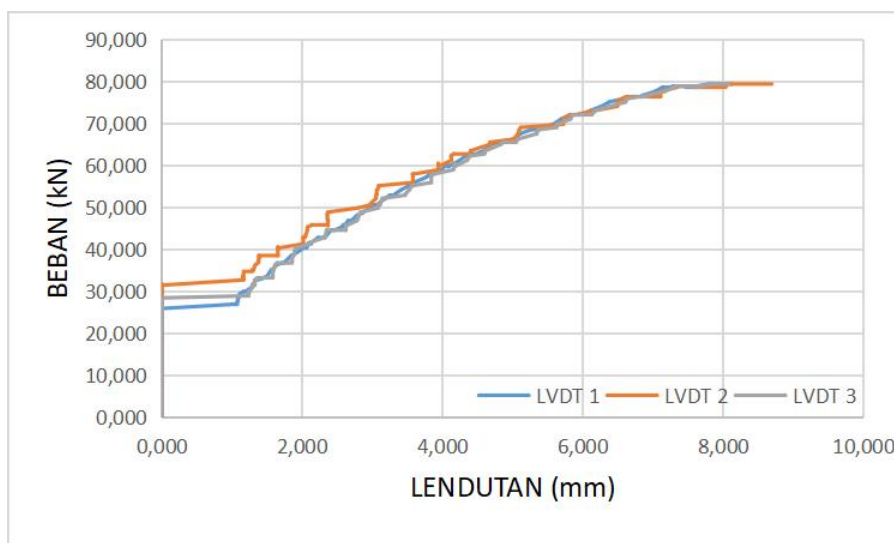


**Gambar 5.18 Kerusakan Sampel Uji Balok Lewatan Zaneta (2022)**  
(Sumber: Zaneta (2022))

Berdasarkan gambar 5.16 dan 5.17, kerusakan terbesar tidak berada di tengah bentang. Bergesernya kerusakan terbesar dari tengah bentang balok ke samping bentang balok ini dipercaya karena titik lemah balok dengan sambungan lewatan tidak berada pada daerah penyaluran  $\ell_{st}$  yang berada di tengah bentang balok, melainkan berada pada ujung penyaluran  $\ell_{st}$  nya yang berada di samping bentang balok.

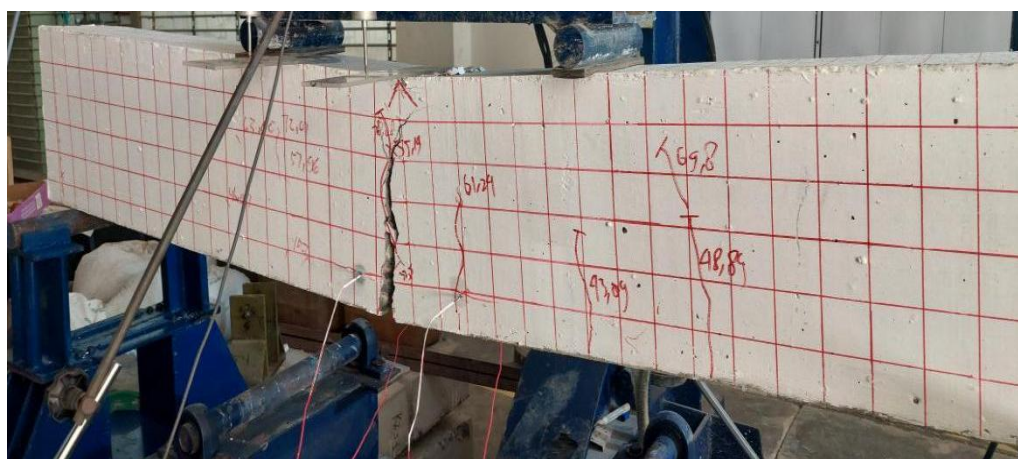
## 2. Sampel Uji Balok Coupler

Pada sampel uji balok *coupler*, diperoleh beban terbesar yang mampu ditahan balok sebelum keruntuhan sebesar 79,380 kN dengan lendutan terbesar sebesar 8,689 mm. Nilai 8,689 mm didapatkan oleh LVDT 2 yang terpasang di tengah bentang balok seperti pada gambar 4.5. Selanjutnya, LVDT 1 dan LVDT 3 berturut-turut mendapatkan nilai lendutan terbesar sebesar 8,119 mm dan 8,078 mm. Berikut merupakan gambar 5.19 yang menunjukkan grafik beban dengan lendutan pada sampel uji balok lewatan.

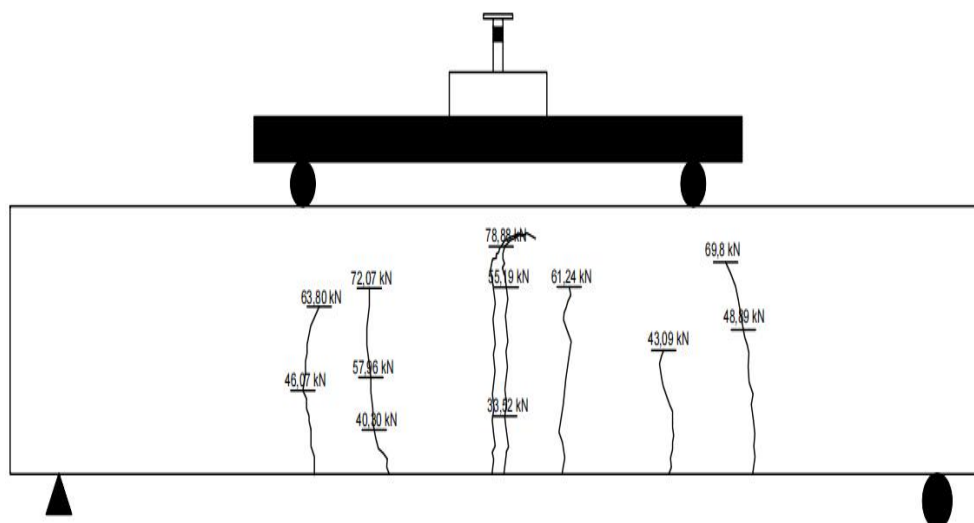


**Gambar 5.19 Beban vs Lendutan Sampel Uji Balok Coupler**

Berdasarkan gambar 5.19, kelelahan tulangan telah terjadi. Kelelahan tulangan tersebut terjadi pada titik beban 31,500 kN. Pada titik beban tersebut, Lendutan yang tercatat naik secara drastis dari titik beban 31,500 kN sebesar 0,001 mm menuju titik beban 32,760 kN sebesar 1,163 mm. Berikut merupakan gambar 5.20 dan 5.21 yang menunjukkan foto dan *sketch* kerusakan yang terjadi pada sampel uji.



**Gambar 5.20 Kerusakan Sampel Uji Balok Coupler**



**Gambar 5.21 Sketch Kerusakan Sampel Uji Balok Coupler**

Berdasarkan gambar 5.19, 5.20, dan 5.21, keruntuhan yang terjadi pada sampel uji ini adalah keruntuhan duktail. Akan tetapi, berdasarkan gambar 5.19, ketika pembebanan dilakukan balok tidak mampu berdeformasi dengan baik setelah pelelehan pertama di titik beban 31,500 kN. Setelah di titik beban 31,500 kN, balok terus bisa mengalami pembebanan hingga keruntuhan di titik beban 79,380 kN, namun deformasi yang terjadi sangatlah kecil sehingga *early warning* sebagai ciri elemen duktail yang dimiliki oleh sampel uji balok lewatan tidak terlalu terlihat pada sampel uji balok *coupler*. Jenis kerusakan yang terjadi merupakan kerusakan lentur dengan keretakan pertama terjadi pada titik beban 33,520 kN. Kerusakan lentur dimulai dari daerah tarik yang seiring dengan bertambahnya pembebanan, kerusakan lentur naik ke daerah tekan. Berbeda dengan sampel uji balok lewatan, sampel uji balok *coupler* memiliki kerusakan terbesar berada di tengah bentang. Kerusakan ini sama dengan yang terjadi pada sampel uji balok *coupler* Zaneta (2022). Berikut gambar 5.22 yang menunjukkan kerusakan sampel balok *coupler* Zaneta (2022).



**Gambar 5.22 Kerusakan Sampel Uji Balok Coupler Zaneta (2022)**  
(Sumber: Zaneta (2022))

Perbedaan posisi kerusakan terbesar di antara sampel uji balok lewatan dan sampel uji balok *coupler* ini dipercaya disebabkan oleh titik lemah pada sampel uji balok *coupler* berada di tengah bentang, tepatnya berada pada titik sambungan *coupler* nya.

#### 5.6.2 Perbandingan Efektivitas Kedua Sampel Balok

##### 1. Perbandingan Efektivitas Kedua Sampel Balok dalam Segi Performa

Berikut merupakan tabel 5.15 yang menunjukkan rekapitulasi momen nominal maksimum serta lendutan maksimum kedua sampel uji balok.

**Tabel 5.15 Rekapitulasi Momen Nominal dan Lendutan Maksimum  
Kedua Sampel Uji Balok**

Sampel Uji Balok	Mn Teoritis (kNm)	Beban Maks. (kN)	Mn Pengujian (kNm)	Lendutan Maks. (mm)
Lewatan	28,103	110,38	33,546	69,37
Coupler	20,079	79,38	24,246	8,689

Berdasarkan hasil yang ada pada tabel 5.15, jika ditinjau baik dari Mn teoritis, beban maksimum, Mn pengujian, maupun lendutan maksimum, sampel uji balok lewatan mempunyai nilai yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan sampel uji balok *coupler*. Hasil ini sama dengan hasil penelitian yang

dilakukan oleh Zaneta (2022), dimana sampel uji balok lewatan memperoleh nilai yang lebih besar baik dalam  $M_n$  teoritis, beban maksimum,  $M_n$  pengujian, dan lendutan maksimumnya. Namun, hasil ini mempunyai perbedaan dengan hasil penelitian yang dilaksanakan oleh Cho, et al (2021). Penelitian yang dilaksanakan oleh Cho, et al (2021) menghasilkan beban maksimum serta lendutan dari sampel uji *coupler* yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan sampel uji lewatan. Hal tersebut dipercaya disebabkan oleh tidak dipasangnya tulangan geser dalam bagian lapangan balok.

## 2. Perbandingan Efektivitas Kedua Sampel Balok dalam Segi Biaya

Tahap analisis biaya pada penelitian ini menggunakan penelitian yang dilakukan oleh Pungky Dharma Saputra yang berjudul *Analisis Perbandingan Kualitas dan Biaya Penggunaan Mechanical Coupler pada Konstruksi Pier Proyek MRT Jakarta CP 103* pada tahun 2020 sebagai referensi.

Berikut merupakan analisis biaya pada penelitian ini.

### a) Data

#### 1) Volume Sambungan Lewatan

Jumlah Sambungan = 2 Titik

Jumlah sambungan adalah jumlah total baja tulangan yang disambung dengan sambungan lewatan.

Diameter Baja Tulangan = 13 mm.

$$\text{Berat Baja Tulangan} = \frac{0,785 \times 0,7854 \times d^2}{100}$$

$$= \frac{0,785 \times 0,7854 \times 13^2}{100}$$

$$= 1,0419 \text{ kg/m}$$

Panjang Sambungan = Jumlah titik dalam satu balok  $\times \ell_{st}$

$$= 2 \times 0,48$$

$$= 0,96 \text{ m}$$

#### 2) Volume Sambungan Coupler

Jumlah Sambungan = 2 Titik

Jumlah sambungan adalah jumlah total baja tulangan yang disambung dengan sambungan *coupler*.

Diameter Baja Tulangan = 13 mm

### 3) Harga Material

Harga Tulangan D13/kg = Rp. 142.000,00

$$= \frac{\text{Harga Tulangan D13 per 12 m}}{\text{Berat Baja Tulangan D13 per meter} \times \text{panjang tulangan}}$$

$$= \frac{142000}{1,0419 \times 12}$$

= Rp. 11.356,37

Upah / kg = Rp.5500,00

Upah per kg didapatkan dari harga *real* tukang yang dipekerjakan dalam proses pembuatan sambungan tulangan.

Coupler D13 = Rp. 19.000,00

Harga *coupler* didapatkan dari harga *real* dari *coupler* yang digunakan.

Upah Pembubutan / sambungan = Rp. 12.500,00

Upah pembubutan didapatkan dari harga *real* tukang yang dipekerjakan dalam proses pembuatan sambungan tulangan.

### b) Perhitungan

Analisis biaya dilakukan dengan rumus perhitungan biaya pada umumnya.

Total Biaya = Volume × Harga Satuan

Berikut merupakan tabel 5.16 yang menunjukkan detail perhitungan biaya pada sampel sambungan lewatan.

**Tabel 5.16 Detail Perhitungan Biaya Sampel Sambungan Lewatan**

Sambungan Lewatan					
No	Deskripsi	Satuan	Volume	Harga Satuan	Total Harga
A	Material				
1	Tulangan Longitudinal Utama	kg	2,00064	Rp 11.356,37	Rp 22.720,00
	Diameter Tulangan = 13 mm				
	Berat Tulangan D13 = 1,042 kg/m				
	Jumlah Sambungan = 2				
	Panjang Sambungan = 0,96 m/titik				
B	Upah				
1	Perakitan	kg	2,00064	Rp 5.500,00	Rp 11.003,52
C	Total Harga				Rp 33.723,00

Berdasarkan tabel 5.16, diperoleh biaya sambungan sendiri sebesar Rp. 22.720,00 dan biaya upah sebesar Rp. 11.003,52. Kedua biaya tersebut kemudian dijumlah sehingga mendapatkan total biaya sambungan lewatan sebesar Rp. 33.723,00.

Selanjutnya dilakukan perhitungan pada sampel sambungan *coupler*. Berikut merupakan tabel 5.17 yang menunjukkan detail perhitungan biaya pada sampel sambungan *coupler*.



**Tabel 5.17 Detail Perhitungan Biaya Sampel Sambungan Coupler**

Sambungan Coupler					
No	Deskripsi	Satuan	Volume	Harga Satuan	Total Harga
A	Material				
1	Mechanical Coupler D13	buah	2,00	Rp 19.000,00	Rp 38.000,00
	Jumlah Sambungan = 2				
B	Upah				
1	Penguliran Baja Tulangan	buah	4,00	Rp 12.500,00	Rp 50.000,00
2	Pemasangan	buah			
C	Total Harga				Rp 88.000,00

Berdasarkan tabel 5.17, diperoleh biaya sambungan sendiri sebesar Rp. 38.000,00 dan biaya upah yang terdiri dari penguliran serta pemasangan sebesar Rp. 50.000,00. Kedua biaya tersebut kemudian dijumlah sehingga mendapatkan total biaya sambungan lewatan sebesar Rp. 88.000,00.

Berdasarkan tabel 5.16 dan tabel 5.17, ditarik kesimpulan bahwa biaya penggunaan sambungan *coupler* lebih mahal bila dibandingkan dengan biaya penggunaan sambungan lewatan. Hasil dari analisis biaya pada penelitian ini mempunyai hasil yang sama dengan penelitian Pungky (2020) dimana penggunaan sambungan *coupler* dengan diameter yang lebih kecil dari 40 mm memiliki biaya yang lebih mahal bila dibandingkan dengan penggunaan sambungan lewatan. Hasil dari analisis biaya pada penelitian ini mempunyai hasil yang sama pula dengan penelitian Kevin, et al (2018) dimana elisih total biaya penggunaan sambungan *coupler* dibandingkan dengan total biaya penggunaan sambungan lewatan adalah 11% lebih mahal.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

1. Momen nominal pengujian mendapatkan nilai yang lebih besar dari momen nominal teoritis pada semua sampel uji kuat lentur. Momen nominal pengujian sampel uji balok lewatan dan sampel uji balok *coupler* berturut-turut mendapatkan 33,546 kNm dan 24,246. Momen nominal teoritis sampel uji balok lewatan dan sampel uji balok *coupler* berturut-turut mendapatkan 28,103 kNm dan 20,079 kNm. Berdasarkan momen nominal pengujian kedua sampel, disimpulkan bahwa balok beton baja tulangan yang disambung dengan sambungan baja tulangan lewatan bisa memberi kapasitas lentur yang lebih besar dibandingkan balok beton baja tulangan yang disambung dengan sambungan baja *coupler*.
2. Pengujian kuat lentur menghasilkan nilai lendutan maksimum sampel uji balok lewatan dan sampel uji balok *coupler* berturut-turut sebesar 69,37 mm dan 8,689 mm. Berdasarkan nilai lendutan maksimum yang dihasilkan, disimpulkan bahwa balok beton baja tulangan yang disambung dengan sambungan baja tulangan lewatan bisa memberi daktilitas yang lebih baik dibandingkan balok beton baja tulangan yang disambung dengan sambungan baja *coupler*.
3. Analisis biaya yang dilakukan terhadap penggunaan sambungan lewatan dan sambungan *coupler* berturut-turut menghasilkan biaya sebesar Rp. 33.723,00 dan Rp. 88.000,00. Berdasarkan biaya yang diperlukan, disimpulkan bahwa balok beton baja tulangan yang disambung dengan sambungan baja tulangan lewatan mampu memberikan pilihan yang lebih murah sebesar 161% dibandingkan balok beton baja tulangan yang disambung dengan sambungan baja *coupler*.

## 6.2 Saran

Penelitian yang dilaksanakan oleh penulis memiliki kekurangan dan ketidaksempurnaan. Berdasarkan persiapan penelitian, proses penelitian, dan hasil penelitian yang telah dilaksanakan penulis, penulis menyimpulkan beberapa saran seperti berikut ini.

1. Memastikan ulang pengontrolan karakteristik material terutama karakteristik agregat.
2. Menambahkan jumlah sampel untuk mengantisipasi adanya *human error*.
3. Melakukan pengujian dengan variabel berbeda seperti dengan perbedaan dimensi balok, perbedaan dimensi tulangan, dan atau perbedaan mutu leleh tulangan serta *coupler*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ambarwati, Z. 2022. Perbandingan Performa Sambungan Lewatan dan Sambungan Mekanis (*Coupler*) pada Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- American Concrete Institute. Mechanical Connections of Reinforcing Bars (Reapproved 1999) reported by ACI Committee 439. ACI 439.3R-91. John F. McDermott, Chairman.
- Arifianto, S. 2017. Pengaruh Kekuatan Sambungan Baja Tulangan dengan Menggunakan Sambungan Mekanis Ditinjau dari Perilaku Balok Beton Bertulang. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*. Vol. 1, No. 1: 358-364. Surabaya.
- Arikunto, SS S. 2002. *Prosedur Penelitian, Suatu Pendekatan Praktek*. PT. Rineka Cipta. Jakarta.
- Aurick, K. & Sutandi, A. 2018. Studi Perbandingan Sambungan Tulangan Kolom dengan Metode *Lap Spilce* dan Metode *Mechanical Splice* pada Proyek Indonesia. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*. Vol. 1, No. 1: 214-219. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. SNI 03-2834-2000. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Baja Tulangan Beton*. SNI 07-2052:2002. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. SNI 1726-2002. Bandung.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. SNI 03-2847-2002. BSN. Bandung.
- Badan Standarisasi Nasional. 2017. *Baja Tulangan Beton*. SNI 2052:2017. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. SNI 2847-2019. BSN. Jakarta.
- Cho, S.; Lim, M.; Lee, C. 2021. Study on the Bending and Joint Performances of Reinforced Concrete Beams Using High-Strength Rebars. *Sustainability*. , 13, 3482. doi: 10.3390/su13063482.

- Ginting, Arusmalem. 2008. Kajian Sambungan Lewatan Jenis *Contact Lap Splice* pada Beton Bertulang. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 4, No. 2: 105-165. Yogyakarta.
- Ibrahim, H. Bachtiar. 1993. *Rencana dan Estimate Real of Cost*. Bumi Aksara. Jakarta.
- Kwan, A. K., Ho, J. M. C., et al. 2002. *Flexural Strength and Ductility of Reinforced Concrete Beams*. Pp: 361-369. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings. Hongkong.
- Lancelot, H. B. 1985. *Mechanical Splices of Reinforcing Bars*. Fort Wort, Texas: Richmond Screw Anchor Company Inc.
- McCormac, J., C. 2001. *Desain Beton Bertulang*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Mukahar, Kholilul RR, Kristiawan SA. 2009. Asesmen Kinerja Struktur Gedung Timbul Jaya Plaza Kota Madiun Pasca Alih Fungsi. Teknik Sipil Universitas Merdeka Madiun. Madiun.
- Paulay, T. & Priestley, M., J., N. 1992. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. John Wiley & Sons, Inc. United States of America.
- Saputra, P. D. 2020. Analisis Perbandingan Kualitas dan Biaya Penggunaan *Mechanical Coupler* pada Konstruksi Pier Proyek MRT Jakarta CP 103. *Construction and Material Journal*. Vol. 2, No. 3: 171-181. Jakarta.
- Punmia, B.C, Ashok, K.J, and Arun, K.J. 2007. *Limit State Design of Reinforced Concrete*. Published by. Laxmi Publications (P) LTD. New Delhi.
- Rusdianto, Y., dan Septiropa, Z. 2005. *analisis dan Perencanaan Beton Bertulang*. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Malang (UMM). Malang.
- Setiawan, A. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Erlangga. Semarang.
- Sugiyono. 2018. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta. Bandung.
- Sugiyono. 2019. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta. Bandung.
- Sutapa, G. & Deskarta, P. 2016. *Panjang Lewatan Sambungan Tulangan pada Balok Beton*. Universitas Udayana. Bali.

# LAMPIRAN 1

HASIL UJI TARIK

**Tabel L-1.1 Hasil Uji Tarik Normal**

Beban		Ekstensiometer	$\Delta$ Sebenarnya	Tegangan (O)	Regangan (g)	Skala gambar	
Kgf	N	$(\Delta L) \dots 10^2 \text{mm}$	$\Delta L \text{ mm}$	(P/A) Mpa	$(\Delta L/L_0)$	r	t
100	981	0	0	7,744	0	0,00	7,744
200	1962	0	0	15,488	0	0,00	15,488
300	2943	0	0	23,232	0	0,00	23,232
400	3924	0,5	0,005	30,976	0,0001	0,01	30,976
500	4905	0,5	0,005	38,721	0,0001	0,01	38,721
600	5886	1	0,01	46,465	0,0002	0,02	46,465
700	6867	1	0,01	54,209	0,0002	0,02	54,209
800	7848	1,5	0,015	61,953	0,0003	0,03	61,953
900	8829	1,5	0,015	69,697	0,0003	0,03	69,697
1000	9810	2	0,02	77,441	0,0004	0,04	77,441
1100	10791	2	0,02	85,185	0,0004	0,04	85,185
1200	11772	2,5	0,025	92,929	0,0005	0,05	92,929
1300	12753	2,5	0,025	100,673	0,0005	0,05	100,673
1400	13734	3	0,03	108,418	0,0006	0,06	108,418
1500	14715	3	0,03	116,162	0,0006	0,06	116,162
1600	15696	3,5	0,035	123,906	0,0007	0,07	123,906
1700	16677	3,5	0,035	131,650	0,0007	0,07	131,650
1800	17658	4	0,04	139,394	0,0008	0,08	139,394
1900	18639	4	0,04	147,138	0,0008	0,08	147,138
2000	19620	4,5	0,045	154,882	0,0009	0,09	154,882
2100	20601	4,5	0,045	162,626	0,0009	0,09	162,626
2200	21582	5	0,05	170,370	0,001	0,10	170,370
2300	22563	5	0,05	178,115	0,001	0,10	178,115
2400	23544	5	0,05	185,859	0,001	0,10	185,859
2500	24525	5	0,05	193,603	0,001	0,10	193,603
2600	25506	5,5	0,055	201,347	0,0011	0,11	201,347
2700	26487	5,5	0,055	209,091	0,0011	0,11	209,091
2800	27468	5,5	0,055	216,835	0,0011	0,11	216,835
2900	28449	5,5	0,055	224,579	0,0011	0,11	224,579
3000	29430	6	0,06	232,323	0,0012	0,12	232,323
3100	30411	6	0,06	240,068	0,0012	0,12	240,068
3200	31392	6	0,06	247,812	0,0012	0,12	247,812
3300	32373	6,5	0,065	255,556	0,0013	0,13	255,556
3400	33354	6,5	0,065	263,300	0,0013	0,13	263,300
3500	34335	6,5	0,065	271,044	0,0013	0,13	271,044
3600	35316	7	0,07	278,788	0,0014	0,14	278,788
3700	36297	7	0,07	286,532	0,0014	0,14	286,532
3800	37278	7	0,07	294,276	0,0014	0,14	294,276
3900	38259	7,5	0,075	302,020	0,0015	0,15	302,020
4000	39240	7,5	0,075	309,765	0,0015	0,15	309,765
4100	40221	8	0,08	317,509	0,0016	0,16	317,509
4200	41202	8	0,08	325,253	0,0016	0,16	325,253
4300	42183	8	0,08	332,997	0,0016	0,16	332,997
4400	43164	8,5	0,085	340,741	0,0017	0,17	340,741
4500	44145	8,5	0,085	348,485	0,0017	0,17	348,485
4600	45126	8,5	0,085	356,229	0,0017	0,17	356,229
4700	46107	9	0,09	363,973	0,0018	0,18	363,973
4800	47088	9	0,09	371,717	0,0018	0,18	371,717
4900	48069	9	0,09	379,462	0,0018	0,18	379,462
5000	49050	9,5	0,095	387,206	0,0019	0,19	387,206
5100	50031	9,5	0,095	394,950	0,0019	0,19	394,950
5200	51012	9,5	0,095	402,694	0,0019	0,19	402,694

Lanjutan Tabel L-1.1 Hasil Uji Tarik Normal

Beban		Ekstensiometer	$\Delta$ Sebenarnya	Tegangan (O)	Regangan (g)	Skala gambar	
Kgf	N	$(\Delta L) \dots 10^2 \text{mm}$	$\Delta L \text{ mm}$	(P/A) Mpa	$(\Delta L/L_0)$	r	t
5300	51993	10	0,1	410,438	0,002	0,20	410,438
5400	52974	10	0,1	418,182	0,002	0,20	418,182
5500	53955	10	0,1	425,926	0,002	0,20	425,926
5600	54936	10	0,1	433,670	0,002	0,20	433,670
5700	55917	10,5	0,105	441,414	0,0021	0,21	441,414
5800	56898	10,5	0,105	449,159	0,0021	0,21	449,159
5900	57879	10,5	0,105	456,903	0,0021	0,21	456,903
6025	59105	12	0,12	466,583	0,0024	0,24	466,583
6150	60332	14	0,14	476,263	0,0028	0,28	476,263
6250	61313	94	0,94	484,007	0,0188	1,88	484,007
6300	61803	105	1,05	487,879	0,021	2,10	487,879
6400	62784	110	1,1	495,623	0,022	2,20	495,623
6500	63765	125	1,25	503,367	0,025	2,50	503,367
6600	64746	134	1,34	511,111	0,0268	2,68	511,111
6700	65727	145	1,45	518,856	0,029	2,90	518,856
6800	66708	156	1,56	526,600	0,0312	3,12	526,600
6900	67689	171	1,71	534,344	0,0342	3,42	534,344
7000	68670	186	1,86	542,088	0,0372	3,72	542,088
7100	69651	198	1,98	549,832	0,0396	3,96	549,832
7200	70632	216	2,16	557,576	0,0432	4,32	557,576
7300	71613	234	2,34	565,320	0,0468	4,68	565,320
7400	72594	250	2,5	573,064	0,05	5,00	573,064
7500	73575	273	2,73	580,808	0,0546	5,46	580,808
7600	74556	290	2,9	588,553	0,058	5,80	588,553
7700	75537	319	3,19	596,297	0,0638	6,38	596,297
7800	76518	357	3,57	604,041	0,0714	7,14	604,041
7900	77499	388	3,88	611,785	0,0776	7,76	611,785
8000	78480	405	4,05	619,529	0,081	8,10	619,529
8100	79461	473	4,73	627,273	0,0946	9,46	627,273

Uraian	Hasil	Satuan
Panjang total benda uji (Lt)	700	mm
Panjang pada bagian kecil (bidang uji)	50	mm
Panjang ukur awal benda uji (Lo)	63,4787	mm
Diameter awal benda uji (do) (kecil)	12,7	mm
Diameter contoh asli (D) (besar)	13	mm
Luas penampang benda uji semula (Ao)	126,6769	mm <sup>2</sup>
Beban maksimum	8100	kgf
	79461	N
Kuat Tarik Maksimum (Pu)	627,27	Mpa
Kuat Tarik Leleh (Fy)	476,26	Mpa



**Tabel L-1.1 Hasil Uji Tarik Coupler**

Beban		Ekstensiometer	$\Delta$ Sebenarnya	Tegangan (O)	Regangan (g)	Skala gambar	
Kgf	N	( $\Delta L$ ) ....10 <sup>2</sup> mm	$\Delta L$ mm	(P/A) Mpa	( $\Delta L/L_0$ )	r	t
100	981	0,85	0,0085	10,323	0,0000425	0,43	10,323
200	1962	1,25	0,0125	20,645	0,0000625	0,63	20,645
300	2943	1,55	0,0155	30,968	0,0000775	0,78	30,968
400	3924	1,75	0,0175	41,291	0,0000875	0,88	41,291
500	4905	2	0,02	51,614	0,0001	1,00	51,614
600	5886	2,15	0,0215	61,936	0,0001075	1,08	61,936
700	6867	2,35	0,0235	72,259	0,0001175	1,18	72,259
800	7848	2,55	0,0255	82,582	0,0001275	1,28	82,582
900	8829	2,65	0,0265	92,904	0,0001325	1,33	92,904
1000	9810	2,85	0,0285	103,227	0,0001425	1,43	103,227
1100	10791	3	0,03	113,550	0,00015	1,50	113,550
1200	11772	3,15	0,0315	123,873	0,0001575	1,58	123,873
1300	12753	3,25	0,0325	134,195	0,0001625	1,63	134,195
1400	13734	3,4	0,034	144,518	0,00017	1,70	144,518
1500	14715	3,5	0,035	154,841	0,000175	1,75	154,841
1600	15696	3,6	0,036	165,163	0,00018	1,80	165,163
1700	16677	3,7	0,037	175,486	0,000185	1,85	175,486
1800	17658	3,8	0,038	185,809	0,00019	1,90	185,809
1900	18639	3,9	0,039	196,132	0,000195	1,95	196,132
2000	19620	4	0,04	206,454	0,0002	2,00	206,454
2100	20601	4,1	0,041	216,777	0,000205	2,05	216,777
2200	21582	4,2	0,042	227,100	0,00021	2,10	227,100
2300	22563	4,3	0,043	237,422	0,000215	2,15	237,422
2400	23544	4,5	0,045	247,745	0,000225	2,25	247,745
2500	24525	4,6	0,046	258,068	0,00023	2,30	258,068
2600	25506	4,65	0,0465	268,390	0,0002325	2,33	268,390
2700	26487	4,7	0,047	278,713	0,000235	2,35	278,713
2800	27468	4,8	0,048	289,036	0,00024	2,40	289,036
2900	28449	4,9	0,049	299,359	0,000245	2,45	299,359
3000	29430	5	0,05	309,681	0,00025	2,50	309,681
3100	30411	5,15	0,0515	320,004	0,0002575	2,58	320,004
3200	31392	5,25	0,0525	330,327	0,0002625	2,63	330,327
3300	32373	5,35	0,0535	340,649	0,0002675	2,68	340,649
3400	33354	5,45	0,0545	350,972	0,0002725	2,73	350,972
3500	34335	5,55	0,0555	361,295	0,0002775	2,78	361,295
3600	35316	5,65	0,0565	371,618	0,0002825	2,83	371,618
3700	36297	5,75	0,0575	381,940	0,0002875	2,88	381,940
3800	37278	5,85	0,0585	392,263	0,0002925	2,93	392,263
3900	38259	5,95	0,0595	402,586	0,0002975	2,98	402,586
4000	39240	6	0,06	412,908	0,0003	3,00	412,908
4100	40221	6,1	0,061	423,231	0,000305	3,05	423,231
4200	41202	6,2	0,062	433,554	0,00031	3,10	433,554
4300	42183	6,3	0,063	443,877	0,000315	3,15	443,877
4400	43164	6,4	0,064	454,199	0,00032	3,20	454,199
4500	44145	6,5	0,065	464,522	0,000325	3,25	464,522
4600	45126	6,75	0,0675	474,845	0,0003375	3,38	474,845
4700	46107	6,95	0,0695	485,167	0,0003475	3,48	485,167
4800	47088	7,15	0,0715	495,490	0,0003575	3,58	495,490
4900	48069	7,25	0,0725	505,813	0,0003625	3,63	505,813
5000	49050	7,4	0,074	516,136	0,00037	3,70	516,136
5100	50031	7,55	0,0755	526,458	0,0003775	3,78	526,458
5200	51012	7,75	0,0775	536,781	0,0003875	3,88	536,781

**Lanjutan Tabel L-1.1 Hasil Uji Tarik Coupler**

Beban		Ekstensiometer	$\Delta$ Sebenarnya	Tegangan (O)	Regangan (g)	Skala gambar	
Kgf	N	$(\Delta L) \dots 10^2 \text{mm}$	$\Delta L \text{ mm}$	(P/A) Mpa	$(\Delta L/L_0)$	r	t
5300	51993	7,95	0,0795	547,104	0,0003975	3,98	547,104
5400	52974	9	0,09	557,426	0,00045	4,50	557,426

Uraian	Hasil	Satuan
Panjang total benda uji (Lt)	700	mm
Panjang pada bagian kecil (bidang uji)	200	mm
Panjang ukur awal benda uji (Lo)	54,9815	mm
Diameter awal benda uji (do) (kecil)	11	mm
Diameter contoh asli (D) (besar)	13	mm
Luas penampang benda uji semula (Ao)	95,0332	mm <sup>2</sup>
Beban maksimum	5400	kgf
	52974	N
Kuat Tarik Maksimum (Pu)	557,426	Mpa
Kuat Tarik Leleh (Fy)	464,522	Mpa

# LAMPIRAN 2

FOTO DOKUMENTASI

**Gambar L-2.1 Uji Material****Gambar L-2.2 Persiapan Material**



**Gambar L-2.3 Pengujian Baja**



**Gambar L-2.4 Perakitan Baja**



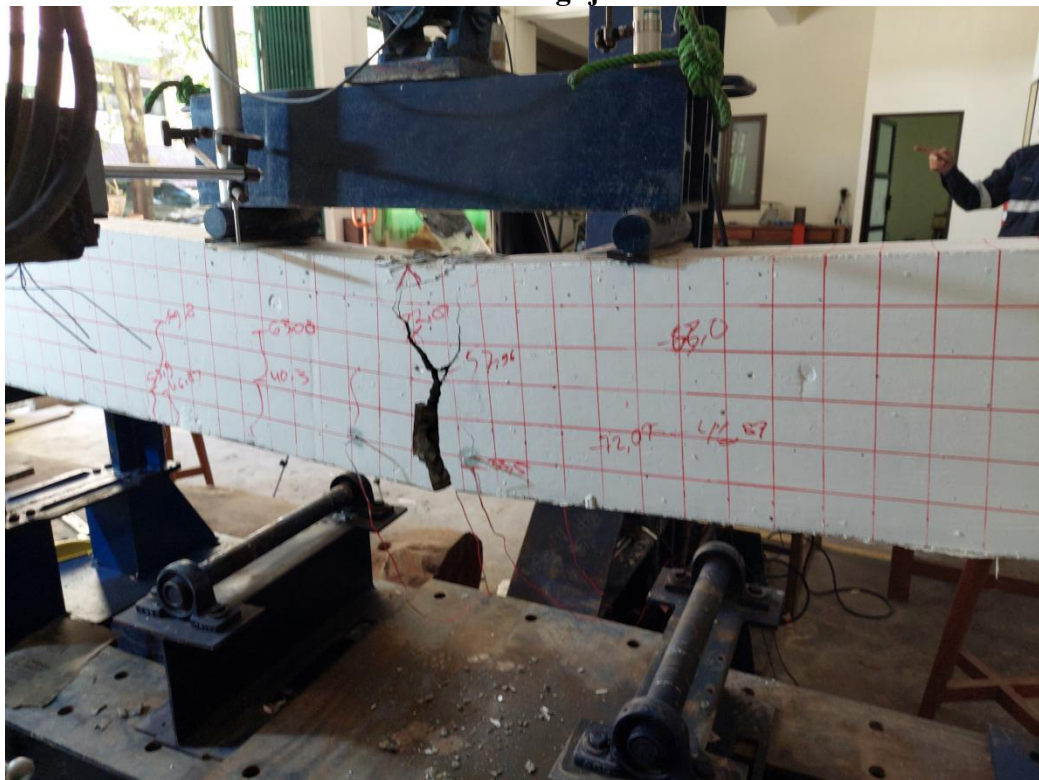
**Gambar L-2.5 Mixing**



**Gambar L-2.6 Uji Slump**





**Gambar L-2.7 Pengecoran****Gambar L-2.8 Pengujian Lentur**

**Gambar L-2.9 Pembobokan Balok**

