

TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN PERFORMA SAMBUNGAN LEWATAN DAN SAMBUNGAN MEKANIS (*COUPLER*) PADA PERILAKU LENTUR BALOK BETON BERTULANG (*COMPARATIVE PERFORMANCE OG LAPSPLICE JOINTS AND MECHANICAL JOINTS (COUPLER) ON BENDING BEHAVIOR OF CONCRETE BEAMS*)

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



ZANETA AMBARWATI

18511204

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

2022

TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN PERFORMA SAMBUNGAN LEWATAN DAN SAMBUNGAN MEKANIS (*COUPLER*) PADA PERILAKU

LENTUR BALOK BETON BERTULANG

(*COMPARATIVE PERFORMANCE OG LAPSPLICE JOINTS AND MECHSNICAL JOINTS (COUPLER) ON BENDING BEHAVIOR OF CONCRETE BEAMS*)

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



ZANETA AMBARWATI

18511204

Disetujui:

Pembimbing

Jafar S.T.,M.T.

Tanggal:

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan sesungguhnya bahwa Proposal Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian tertentu dalam penulisan Proposal 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 Proposal 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 peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 2022

Yang membuat pernyataan,

materai 6.000

Zaneta Ambarwati

18511204

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir yang berjudul *Study experimental* perbandingan performa sambungan lewatan dan sambungan mekanis (*coupler*) pada perilaku lentur balok beton bertulang. Proposal tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Dalam penyusunan Proposal Tugas Akhir ini ditemukan beberapa hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Proposal Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Jafar S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing.
2. Ibu Dr.Ir. Sri Amini Yuni A, M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak dan Ibu dosen pengajar yang telah mencurahkan ilmunya kepada penulis serta bapak dan ibu staff Program Studi Teknik Sipil dan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan yang telah membantu penulis dalam mengurus segala sesuatu terkait masa perkuliahan selama ini,
4. Bapak, ibu dan keluarga yang telah berkorban begitu banyak, baik material maupun spiritual, hingga selesainya Proposal Tugas Akhir ini.
5. Bapak dan Ibu dosen pengajar yang telah mencurahkan ilmunya kepada penulis serta bapak dan ibu staff Program Studi Teknik Sipil dan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan yang telah membantu penulis dalam mengurus segala sesuatu terkait masa perkuliahan selama ini,
6. Zha Zha Noor Zhavitri, Dya Ayu Kusuma Wardani, Dani Fikri Haikal, M.RIski Maulana, Bagus Mukti Wibowo, Adhi Sulaiman, selaku sobat Orang

Dalam yang senantiasa memberikan dukungan semangat serta tenaga dalam proses pembuatan benda uji hingga proses pengujian.

7. Serta semua teman-teman saya yang telah andil dalam proses penelitian yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

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

Yogyakarta,

2022

Penulis,

Zaneta Ambarwati

18511204

الجامعة الإسلامية
الاستدراكية

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Lokasi Penelitian	3
BAB II	4
2.1 Umum	4
2.2 Pengujian Baja Tulangan dengan Sambungan Mekanis Tipe <i>Coupler</i>	4
2.3 Pengujian Balok Beton Bertulang dengan Sambungan Mekanis Tipe <i>Coupler</i>	4
2.4 Perbandingan Pengujian Balok Beton Bertulang dengan Sambungan Lewatan (<i>Lap Splice</i>), Sambungan Mekanis Tipe <i>Coupler</i> , dan Sambungan Mekanis Tipe <i>Coupler</i> dengan mur pengunci	5
2.5 Pengujian Balok Beton Bertulang dengan Sambungan Lewatan (<i>Lipe Splice</i>)	5
2.6 Pengaruh Panjang Sambungan Lewatan Tulangan Baja Polos Terhadap Kuat Lentur pada Balok Kantilever Beton Bertulang	6
2.7 Perbandingan Perilaku Balok Tanpa Sambungan Lewatan dan Balok dengan Sambungan Lewatan	6
2.8 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan dilaksanakan	10
BAB III	11
3.1 Beton	11
3.2 Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	11
3.3 <i>Waterproofing</i> Damdex	17
3.4 Pengujian Kuat Desak Beton	17

3.5	Baja Tulangan	18
3.6	Pengujian Baja	18
3.7	Beton Bertulang	20
3.8	Sambungan Mekanis <i>Coupler</i>	22
3.9	Sambungan Lewatan (<i>Lap Splice</i>)	27
BAB IV		30
METODOLOGI		30
4.1	Tinjauan Umum	30
4.2	Metode Pengambilan Data	30
4.3	Bahan-Bahan yang Digunakan	30
4.4	Peralatan penelitian	31
4.5	Tahapan Penelitian	32
4.6	Bagan Alir Metode Penelitian	35
BAB V		39
HASIL DAN PEMBAHASAN		39
5.1	Pengujian Material	39
5.2	Perhitungan Percobaan Rencana Campuran Beton (<i>Trial Mix Design</i>)	46
5.3	Analisis Data <i>Trial Mix Design</i>	51
5.4	Perhitungan Proporsi Campuran Benda Uji Utama	53
5.5	Pengujian Baja	55
5.6	Sambungan Tulangan Pada Balok	61
5.7	Pengujian Kuat Lentur	62
5.8	Respon Beban dan Perpindahan	66
BAB VI		72
KESIMPULAN DAN SARAN		72
6.1	KESIMPULAN	72
6.2	SARAN	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rekapitulasi Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	7
Tabel 3.1 Faktor Pengali Deviasi Standar	12
Tabel 3.2 Perkiraan Kekuatan Tekan	12
Tabel 3.3 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3)	14
Tabel 3.4 Syarat Minimum Jumlah Semen dan Nilai FAS Maksimum	14
Tabel 3.5 Panjang Sambungan Lewatan Batang Ulir dan Kawat Ulir Dalam Kondisi Tarik	29
Tabel 4.1 Time Schedule Penelitian yang Akan Dilaksanakan	30
Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	39
Tabel 5.2 Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus	40
Tabel 5.3 Pengujian Kandungan Lumpur Agregat Halus	41
Tabel 5.4 Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus	42
Tabel 5.5 Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus	43
Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	43
Tabel 5.7 Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Kasar	44
Tabel 5.8 Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar	45
Tabel 5.9 Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus	46
Tabel 5.10 Rekapitulasi Pengujian <i>Trial Mix Design</i>	53
Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pengujian Baja D13	60
Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Mn Percobaan	64
Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Mn Teoritis	65
Tabel 5.14 Perbandingan Mn Percobaan dan Mn teoritis	65
Tabel 5.15 Rekapitulasi Besar Lendutan Pada Masing-Masing Balok	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen	13
Gambar 3.2. Grafik Persentase Agregat Halus	16
Gambar 3.3 Grafik Berat Isi Beton	16
Gambar 3.4 Kurva Hubungan Tegangan (f) vs Regangan (ϵ)	19
Gambar 3.5 Bagian Kurva Tegangan-Regangan yang Diperbesar	19
Gambar 3.6 Diagram Regangan Tegangan Balok Beton Bertulang Tunggal	21
Gambar 3.7 Diagram Regangan Tegangan Balok Beton Bertulang Rangkap	21
Gambar 3.8 <i>Solid-type steel coupling sleeve</i>	22
Gambar 3.9 <i>Stell-Filled Coupling Sleeve</i>	23
Gambar 3.10 <i>Wedge- Locking Coupling Sleeve</i>	24
Gambar 3.11 <i>Steel Coupling Sleeve with Wedge</i>	25
Gambar 3.12 <i>Bar Splice Double Barrel</i>	25
Gambar 3.13 <i>Taper-Threaded Steel Coupler</i>	26
Gambar 3.14 <i>Coupler for Thread-Deformed Bars Reinforcing</i>	27
Gambar 4.1 Bagan Alir Metode Penelitian	40
Gambar 5.1 Analisis Saringan Agregat Halus	41
Gambar 5.2 Grafik Gradasi Agregat Kasar	45
Gambar 5.3 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan FAS	48
Gambar 5.4 Grafik Presentase Agregat Halus	50
Gambar 5.5 Grafik Isi Beton	51
Gambar 5.6 Pengujian Trial Mix Design Silinder Beton	52
Gambar 5.7 Kerusakan Tulangan D13 Normal Terhadap Uji Tarik	55
Gambar 5.8 Grafik Hubungan Tegangan Vs Regangan Baja D13 Normal	57
Gambar 5.9 Benda Uji D13 Sambungan Coupler	57
Gambar 5.10 Kerusakan Tulangan D13 Sambungan Coupler Terhadap Uji Tarik	58
Gambar 5.11 Grafik Hubungan Tegangan Vs Regangan Baja D13 Coupler	60

Gambar 5.12 Detail Pemasangan LVDT Pada Benda Uji	66
Gambar 5.13 Grafik Beban VS Lendutan Balok Normal	67
Gambar 5.14 Kerusakan Benda Uji Balok Normal 1	68
Gambar 5.15 Grafik Beban VS Lendutan Balok Sambungan Lewatan	68
Gambar 5.16 Kerusakan Benda Uji Balok Sambungan Lewatan	69
Gambar 5.17 Grafik Beban VS Lendutan Balok Sambungan Coupler	70
Gambar 5.18 Kerusakan Benda Uji Balok Sambungan Coupler 2	70



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1

Lampiran 2



ABSTRAK

Beton bertulang ialah kombinasi campuran antara baja tulangan dan beton. Beton merupakan bahan yang sangat baik dalam menahan kuat tekan dipadukan dengan tulangan yang sangat kuat dalam menahan kuat tarik yang menghasilkan salah satu komponen struktur yang baik dalam menopang beban yang dipikul (Yohanes,2015). Batang tulangan yang digunakan pada struktur beton bertulang diproduksi dengan panjang tertentu, sedangkan implementasi di lapangan panjang yang dibutuhkan bisa melebihi panjang yang tersedia. Permasalahan tersebut dapat diselesaikan menggunakan alternatif sambungan tulangan. Dalam proses pelaksanaannya dapat menggunakan beberapa cara di dalamnya yakni dengan sambungan lewatan (*Lap Splice*), sambungan pengelasan, dan sambungan mekanis (Sulastri,2020). Pada penelitian ini akan membahas perbandingan performa kekuatan balok beton bertulang terhadap perilaku lentur dengan sambungan lewatan (*Lap Splice*) dan sambungan mekanis tipe coupler.

Hasil dari penelitian didapatkan nilai momen nominal percobaan dan momen nominal teoritis pada balok normal, lewatan, dan *coupler*. persen selisih antara nilai M_n percobaan lewatan dan coupler terhadap beton normal secara berturut-turut sebesar 5,0097 % lebih besar dan 26,8142% lebih kecil. Nilai momen nominal yang telah dianalisis sesuai dengan SNI 2847:2019 lebih kecil dibandingkan dengan momen nominal percobaan. pada pengujian kuat lentur beban maksimal terdapat pada balok lewatan sebesar 138,85 kN, namun untuk nilai lendutan maksimal terdapat pada balok normal sebesar 67,548 mm.

Kata kunci: Momen nominal, Sambungan lewatan, Sambungan *coupler*

ABSTRAC

Reinforced concrete is a mixture of steel and concrete. Concrete is an excellent material for resisting compressive strength, combined with bars that are very strong in resisting tensile strength which produces one of the structural components that is good in supporting the load carried (John, 2015). Reinforcing bars used in reinforced concrete structures are produced with a certain length, while in field implementation the required length may exceed the available length. These problems can be solved using alternative reinforcement joints. In the implementation process, several methods can be used in it, namely lap splices, welding joints, and mechanical connections (Sulastri, 2020). In this study, we will discuss the comparison of the performance of reinforced concrete beams on flexural behavior with lap splices and coupler-type mechanical connections.

The results of the study obtained experimental nominal moment values and theoretical nominal moments on normal beams, passes, and couplers. percent of the difference between the experimental M_n values of passing and coupler against normal concrete was 5,0097 % larger and 26.8142% smaller, respectively. The nominal moment value that has been analyzed by SNI 2847:2019 code is smaller than the nominal moment of the experiment. In the flexural strength test, the maximum load is found in the overpass beam of 138.85 kN, but for the maximum deflection value, there is a normal beam of 67.548 mm.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton bertulang ialah kombinasi campuran antara baja tulangan dan beton. Beton merupakan bahan yang sangat baik dalam menahan kuat tekan dipadukan dengan tulangan yang sangat kuat dalam menahan kuat tarik yang akan menghasilkan salah satu komponen struktur yang sangat baik dalam menopang beban yang dipikul (Yohanes, 2015). Batang tulangan yang digunakan pada struktur beton bertulang diproduksi dengan panjang tertentu, sedangkan di lapangan panjang yang dibutuhkan bisa melebihi panjang yang tersedia. Permasalahan tersebut membutuhkan alternatif untuk menanganinya.

Alternatif yang dapat dipilih adalah dengan melakukan sambungan pada tulangan. Penempatan serta kekuatan sambungan harus direncanakan secara matang supaya tidak terjadi keruntuhan pada struktur. Dalam proses pelaksanaan dapat menggunakan beberapa cara di dalamnya yakni dengan sambungan lewatan (Lap Splice), sambungan pengelasan dan sambungan mekanis (Sulastri, 2020).

Sambungan lewatan (Lap Splice) merupakan teknik sambungan yang dilakukan dengan menyatukan ujung batang tulangan dengan panjang tertentu yang akan disambung dan diikat menggunakan kawat bendrat (Dipohusodo, 1994). Menurut SNI 2874:2013 pasal 12.2.1 dinyatakan bahwa adapun panjang minimum dari sambungan lewatan (Lap Splice) pada tulangan tarik diambil berdasarkan persyaratan dari kelas yang sesuai, kebutuhan pada sambungan lewatan (Lap Splice) berkaitan pada panjang penyaluran tegangan (l_d). Besarnya panjang penyaluran tergantung dari tegangan lekat beton dengan tulangan (Sulastri, 2020).

Sambungan mekanis diterapkan secara aktif terutama dalam konstruksi struktur skala besar salah satunya adalah sambungan mekanis tipe *coupler*. Sambungan ulir ujung ganda tidak memerlukan pekerja terampil khusus untuk pembuatannya, namun kualitas yang stabil dapat terjamin dan memiliki kekuatan pengikatan yang sangat baik, oleh karena itu digunakan secara luas di lapangan

(Jeong et al., 2015). Sambungan ulir ujung dibagi lagi menjadi sambungan ulir paralel dan sambungan ulir ujung samping. Di Korea, sambungan ulir paralel umumnya diterapkan. Alasan sambungan ulir paralel lebih diutamakan untuk digunakan adalah karena jika menggunakan sambungan ulir sisi samping harus memotong bahan dasar batang tulangan sehingga dapat mengurangi kinerja sambungan (Jeong et al., 2015).

Penelitian ini akan membahas perbandingan performa kekuatan balok beton bertulang terhadap perilaku lentur dengan sambungan lewatan (Lap Splice) dan sambungan mekanis tipe *coupler*. Baja tulangan menggunakan baja ulir dengan sambungan ulir paralel. Selain itu, penelitian ini juga akan membandingkan estimasi biaya yang dibutuhkan untuk benda uji balok bertulang dengan sambungan lewatan (Lap Splice) dan sambungan mekanis tipe *coupler*.

1.2 Rumusan Masalah

Dari hasil pembahasan latar belakang di atas, adapun permasalahan yang akan diulas dalam penelitian ini yakni:

1. Bagaimana perbandingan nilai momen nominal yang dihasilkan dari masing-masing benda uji setelah diuji kuat lentur?
2. Bagaimana perbandingan nilai lendutan pada masing-masing benda uji balok yang dihasilkan dari pengujian kuat lentur?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini ialah:

1. Untuk mengetahui perbandingan nilai momen nominal yang dihasilkan pada masing-masing benda uji setelah diuji kuat lentur
2. Untuk mengetahui perbandingan nilai lendutan pada masing-masing balok yang dihasilkan dari pengujian kuat lentur

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun harapan dari penelitian ini ialah mampu memberikan pengetahuan terkait perbandingan performa kekuatan balok beton bertulang terhadap perilaku lentur dengan sambungan lewatan (Lap Splice) dan sambungan mekanis tipe

coupler, dengan mengetahui perbandingan nilai momen nominal pada masing-masing benda uji balok. Selain itu juga dapat memberikan gambaran perbandingan nilai lendutan yang dihasilkan pada masing-masing benda uji setelah dilakukan pengujian kuat lentur.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ada dalam penelitian ini sangat diperlukan supaya bahasan yang didapat tidak melebar terlalu luas sehingga dapat lebih terfokus. Batasan masalah pada penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. *Mix design* yang direncanakan ialah beton normal $f'c = 25$ Mpa
2. Benda uji balok beton bertulang akan menggunakan baja tulangan P10 untuk tulangan tekan dan D13 untuk tulangan tarik. Setiap benda uji balok beton bertulang menggunakan Sengkang P8 dan spasi 150 mm.
3. Pengujian baja tulangan dengan ditetapkan tegangan leleh = 420 Mpa dan kuat tarik = Mpa.
4. Pembuatan benda uji silinder menggunakan dimensi diameter 150 mm dan tinggi 300 mm yang berjumlah 3 buah.
5. Pembuatan benda uji balok dengan dimensi $200 \times 300 \times 2000$ mm berjumlah 1 buah untuk masing-masing tipe sambungan.
6. Pengujian pada benda uji akan dilaksanakan pada saat umur 14 hari dengan menggunakan bahan adiktif damdex.
7. Penelitian tidak membahas pengaruh pemakaian damdex pada benda uji, damdex digunakan hanya untuk mempercepat pengerasan beton.

1.6 Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Pada sebuah penelitian diperlukan tinjauan Pustaka yang bertujuan untuk menunjang keilmiahannya penelitian. Adapun beberapa penelitian terdahulu dengan konsep dan tema yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan guna menunjang penelitian yang akan dikerjakan. Dengan dilakukannya tinjauan Pustaka, maka dapat diketahui adanya perbedaan-perbedaan pada penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, sehingga dapat memberikan gambaran jelas atas kebaruan yang ada.

2.2 Pengujian Baja Tulangan dengan Sambungan Mekanis Tipe Coupler

Jeong et al (2015) melakukan penelitian dengan judul “Mechanical Performance Evaluation of Rolling Thread Steel Rebar Connection with Taper type Coupler”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji batang tulangan yang dihubungkan dengan coupler tipe lancip pada komponen beton. Hasil dari penelitian ini adalah baja tulangan yang dihubungkan dengan coupler tipe lancip menunjukkan kinerja mekanik yang sama jika dibandingkan dengan rebat tidak terhubung. Dari hal ini dapat diketahui bahwa coupler tipe lancip dapat digunakan dalam fabrikasi rebar struktur beton bertulang.

2.3 Pengujian Balok Beton Bertulang dengan Sambungan Mekanis Tipe Coupler

Ng et al (2017) melakukan penelitian yang berjudul “Role of reinforcement couplers in serviceability performance of concrete members”. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari peran coupler dalam kemampuannya sebagai sambungan pada tulangan beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran coupler, kuat tegangan, dan panjangnya pengukuran berkaitan dengan pengukuran coupler. Oleh karena itu penentuan tingkat tegangan dan panjang pengukuran harus ditentukan dalam desain perlakuan. Selain itu juga diketahui bahwa kekakuan

model berkembang untuk menjadi model coupler yang berefek pada rasio kekakuan slip residu, ukuran coupler, level tekanan pada rebar, dan juga pengukuran panjang.

2.4 Perbandingan Pengujian Balok Beton Bertulang dengan Sambungan Lewatan (*Lap Splice*), Sambungan Mekanis Tipe *Coupler*, dan Sambungan Mekanis Tipe *Coupler* dengan mur pengunci

Cho et al (2021) melakukan penelitian yang berjudul “Study on the Bending and Joint Performances of Reinforced Concrete Beams Using High-Strength Rebars”. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari dan mengevaluasi kinerja sambungan dari tulangan dimana bentuk batang penguat mampu memperbaiki kelemahan dari sambungan mekanis yang melalui uji kuat tarik dan uji lentur. Hasil penelitian didapati bahwa sampel dengan sambungan panjang hasilnya adalah di atas kekuatan minimal meskipun tidak memiliki tekanan lateral. Selain itu sambungan *coupler* lebih efektif jika dibandingkan dengan sambungan lewatan (*Lap Splice*). Hasil lainnya adalah sambungan antara coupler dan mur pengunci serta sambungan *coupler* yang mengalami tegangan tekuk memiliki kinerja yang serupa.

2.5 Pengujian Balok Beton Bertulang dengan Sambungan Lewatan (*Lap Splice*)

Teguh dan Mahlisani (2015) melakukan penelitian berjudul “Experimental Study on Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams with Variety Lap Splices of Reinforcing Steel Bars”. Penelitian ini bertujuan guna mempelajari adanya kekuatan pada lentur balok beton bertulang yang terdiri dari respon beban berpindah, perambatan retak lentur, dan daktilitas perpindahan. Hasil dari penelitian ini adalah sambungan batang yang menggunakan sambungan tumpang tindih dari baja batang tulangan memberikan kekuatan tertinggi dan daktilitas lentur menghasilkan perilaku lentur yang lebih baik dalam menahan momen lentur. Selain itu didapati bahwa rasio kekuatan, karakteristik material, dan perawatan sambungan merupakan faktor yang mempengaruhi daktilitas lentur balok.

2.6 Pengaruh Panjang Sambungan Lewatan Tulangan Baja Polos Terhadap Kuat Lentur pada Balok Kantilever Beton Bertulang

Prayitno dkk (2016) melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Panjang Sambungan Lewatan Tulangan Baja Polos Terhadap Kuat Lentur pada Balok Kantilever Beton Bertulang”. Pada penelitian ini adapun tujuannya yakni, guna mengetahui pengaruh kuat lentur pada panjang sambungan lewatan dengan penggunaan beton normal dan kuat tekan rencana 20 MPa. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, hasil menunjukkan bahwa semakin panjang sambungan lewatan yang dipakai, maka akan semakin besar pula hasil dari nilai momen nominal yang dihasilkan.

2.7 Perbandingan Perilaku Balok Tanpa Sambungan Lewatan dan Balok dengan Sambungan Lewatan

Sulastri (2020) melakukan penelitian yang berjudul “Perbandingan Perilaku Balok Tanpa Sambungan Lewatan dan Balok dengan Sambungan Lewatan”. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui perilaku balok tanpa sambungan dan balok dengan sambungan lewatan terhadap pengujian lentur, untuk sambungan lewatan mengacu pada SNI 2847:2013. Hasil yang didapatkan yaitu panjang penyaluran dengan sambungan lewatan mampu memberikan kapasitas lentur yang lebih baik dibandingkan dengan balok tanpa sambungan.

Rekapitulasi dari Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Rekapitulasi Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Penelitian	Judul	Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
Jeong et al (2015)	Mechanical Performance Evaluation of Rolling Thread Steel Rebar Connection with Taper type Coupler	menguji batang tulangan yang dihubungkan dengan coupler tipe lancip pada komponen beton	baja tulangan yang dihubungkan dengan coupler tipe lancip menunjukkan kinerja mekanik yang sama jika dibandingkan dengan rebar tidak terhubung
Ng et al (2017)	Role of reinforcement couplers in serviceability performance of concrete members	mempelajari peran coupler dalam kemampuannya sebagai bahan beton	kekakuan model berkembang untuk menjadi model coupler yang berefek pada rasio kekakuan slip residu, ukuran coupler, level tekanan pada rebar, dan juga pengukuran panjang
Cho et al (2021)	Study on the Bending and Joint Performances of Reinforced Concrete Beams Using High-Strength Rebars	mempelajari dan mengevaluasi kinerja sambungan dari tulangan dimana bentuk batang penguat mampu memperbaiki kelemahan dari sambungan mekanik yang melalui uji kuat tarik dan uji lentur	sampel dengan sambungan panjang hasilnya adalah di atas kekuatan minimal meskipun tidak memiliki tekanan lateral. Selain itu sambungan coupler lebih efektif jika dibandingkan dengan sambungan overlap.

Penelitian	Judul	Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
Teguh dan Mahlisani (2015)	Experimental Study on Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams with Variety Lap Splices of Reinforcing Steel Bars	mempelajari kekuatan lentur balok beton bertulang yang terdiri dari respon beban berpindah, perambatan retak lentur, dan daktilitas perpindahan	sambungan batang yang menggunakan sambungan tumpah tinggi dari baja batang tulangan memberikan kekuatan tertinggi dan daktilitas lentur menghasilkan perilaku lentur yang lebih baik dalam menahan momen lentur.
Prayitno dkk (2016)	Pengaruh Panjang Sambungan Lewatan Tulangan Baja Polos Terhadap Kuat Lentur pada Balok Kantilever Beton Bertulang	mengetahui pengaruh kuat lentur dengan adanya panjang sambungan lawatan dengan menggunakan beton normal dan kuat tekan rencana 20 MPa	semakin panjang sambungan lewatan yang digunakan, maka akan menghasilkan nilai momen nominal yang semakin besar pula.
Sulastri (2020)	Perbandingan Perilaku Balok Tanpa Sambungan Lewatan dan Balok dengan Sambungan Lewatan	tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui perilaku balok tanpa sambungan dan balok dengan sambungan lewatan terhadap pengujian lentur	panjang penyaluran dengan sambungan lewatan mampu memberikan kapasitas lentur yang lebih baik dibandingkan dengan balok tanpa sambungan

Penelitian	Judul	Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
Penulis	Study experimental perbandingan performa sambungan lewatan dan sambungan mekanis (<i>coupler</i>) pada perilaku lentur balok beton bertulang	mengetahui perbandingan performa kekuatan balok beton bertulang terhadap perilaku lentur dengan sambungan lewatan (Lap Splice) dan sambungan mekanis tipe <i>coupler</i>

2.8 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan dilaksanakan

Perbedaan antara penelitian yang akan dilaksanakan dengan penelitian terdahulu ialah sebagai berikut.

1. Dalam penelitian ini, peneliti memakai baja tulangan ulir 10 yang menjadi komponen pokok tulangan dan D8 untuk tulangan sengkang, dengan dimensi balok $200 \times 300 \times 2000$ mm
2. Penelitian ini membandingkan nilai momen nominal dan nilai lendutan yang dihasilkan dari masing-masing benda uji setelah dilakukan pengujian kuat lentur.
3. Pada penelitian ini pada balok dengan sambungan lewatan ditambahkan tulangan lateral pada bagian tengah benda uji.

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Berdasarkan SNI 2847:2019 beton merupakan kombinasi antara semen Portland atau semen hidrolik lainnya, air, agregat halus dan agregat kasar, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan. Beton dapat mencapai kekuatan rencana ($f'c$) apabila umur rencana sudah mencapai ± 28 hari. Material penyusun beton harus tercampur secara merata supaya dapat diperoleh mutu beton yang baik.

3.2 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Dalam perencanaan campuran beton yang terdapat pada penelitian ini akan menjadikan SNI 03-2843-2000 sebagai acuan. Tahapan perencanaan campuran beton adalah sebagai berikut:

1. Kuat tekan rencana

Adapun rumus pada perhitungan kuat tekan rata-rata yang ditargetkan adalah sebagai berikut.

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

dimana:

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

dengan:

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

$f'c$ = kuat tekan rencana (Mpa)

M = nilai tambah

1,64 = tetapan statistik

S_r = deviasi standar rencana

Nilai deviasi standar rencana dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
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)

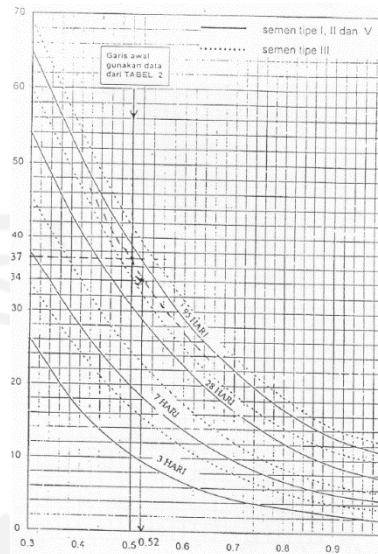
2. Faktor Air Semen (FAS)

Proses penentuan hubungan antara faktor air semen dan kuat tekan dapat dilakukan dengan meninjau Tabel 3.2 dan Gambar grafik 3.1.

Tabel 3.2 Perkiraan Kekuatan Tekan

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

Sumber: SNI 03-2834-2000



Gambar 3.1 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

3. Kadar air bebas

Penetapan nilai slump harus disesuaikan dengan kondisi pelaksanaan pekerjaan supaya dapat memperoleh beton yang mudah untuk dituang, diratakan, dan dipadatkan. Nilai slump sangat berpengaruh dengan kadar air bebas pada suatu campuran beton segar. Penentuan kadar air bebas dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

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

dengan:

W_h = perkiraan jumlah air untuk agregat halus

W_k = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

Untuk mengetahui nilai W_h dan W_k dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m³)

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

Proses penentuan kadar semen dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

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

Selanjutnya penentuan akan syarat pada faktor air semen maksimum dan jumlah semen minimum. Namun apabila jumlah semen terjadi perubahan karena lebih kecil dari jumlah minimum atau lebih besar dari jumlah maksimum yang sudah ditentukan, maka harus dilakukan perhitungan ulang pada faktor air semen. Syarat minimum jumlah semen dan nilai FAS maksimum dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Syarat Minimum Jumlah Semen dan Nilai FAS Maksimum

Lokasi ...	Jumlah Semen minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan: Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
Keadaan keliling korosif disebabkan kondensasi atas uap korosif.	325	0,52

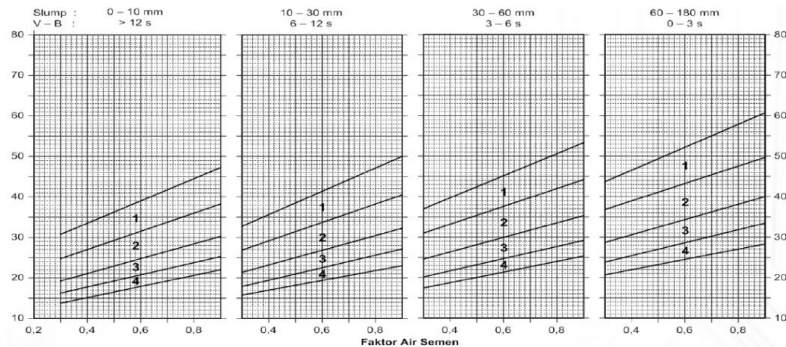
**Lanjutan Tabel 3.4 Syarat Minimum Jumlah Semen dan Nilai FAS
Maksimum**

Lokasi ...	Jumlah Semen minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di luar ruangan bangunan:		
a. Tidak terlindungi 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. Mendapatkan pengaruh sulfat dan alkali dari tanah.		Lihat Tabel 5
Beton kontinu berhubungan:		
a. Air tawar		
b. Air laut		Lihat Tabel 6

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

5. Kadar agregat halus

Data FAS dan *slump* dapat digunakan dalam penentuan nilai presentase kadar agregat halus, serta mencermati bagian-bagian gradasi dari butir agregat halus. Sebuah grafik dapat digunakan sebagai bantuan dalam penentuan persentase dari agregat halus, dimana grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.2



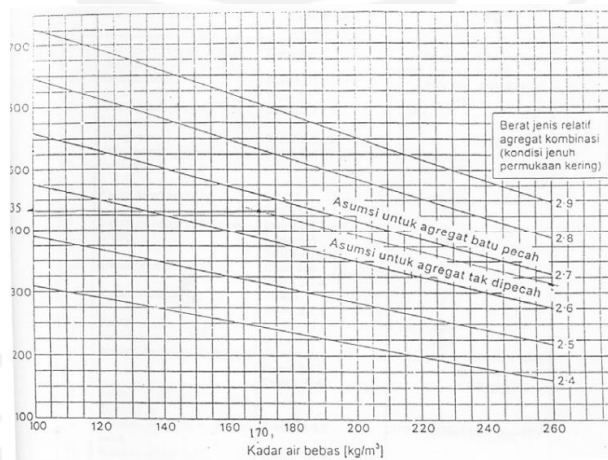
Grafik 5 : Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 40 mm

Gambar 3.2. Grafik Persentase Agregat Halus

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

6. Berat isi beton

Berat isi beton yang sesuai dengan berat jenis relatif dan kadar air bebas dari agregat gabungan dapat didapatkan dengan melihat grafik yang terdapat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Grafik Berat Isi Beton

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

7. Komposisi material

Pada komposisi material, didapatkan berat semen dan berat air yang akan digunakan, sehingga dapat diperoleh berat gabungan dari kedua agregat. Dengan

didapatkan presentase berat agregat, maka berat dari masing-masing material penyusun beton dalam 1 m³ campuran beton dapat diperoleh.

3.3 *Waterproofing* Damdex

Waterproofing merupakan bahan tambah yang dapat dicampurkan ke dalam campuran beton guna menghasilkan beton yang kedap air. Salah satu jenis bahan tambah *waterproofing* ialah damdex, dimana damdex sendiri merupakan cairan kimia yang berwarna kecoklatan. Berdasarkan deskripsi pada laman resmi Damdex Indonesia, damdex jika dijadikan sebagai bahan tambah dapat meningkatkan daya tekan beton hingga 35 % dan mempercepat proses pengerasan beton hingga 50 %. Dalam penggunaan sebagai bahan tambah dalam campuran beton, pada kemasan damdex disyaratkan penggunaan sebanyak 2 % dari berat semen.

3.4 Pengujian Kuat Desak Beton

Pengujian kuat desak beton dilaksanakan guna dijadikan sebagai patokan dalam pengujian akan penentuan dari kuat tekan beton dengan benda uji yang dibuat berbentuk silinder atau kubus lalu dimatangkan (*curing*) pada laboratorium maupun lapangan.

Kuat desak beton dihitung menggunakan rumus berikut.

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

Keterangan:

- σ_c = tegangan tekan beton (Mpa)
- P = besar beban tekan (N)
- A = luas penampang beton (mm²)

3.5 Baja Tulangan

Adapun baja karbon atau baja paduan yang merupakan komponen dari baja tulangan yang berbentuk batang dan memiliki penampang bundar yang digunakan untuk penulangan pada beton (SNI 2052:2017).

Berdasarkan SNI 2052:2017 baja tulangan terbagi menjadi dua jenis, yaitu baja tulangan beton polos (BJTP) dan baja tulangan beton sirip atau ulir (BJTS).

1. **Baja Tulangan Beton Polos (BJTP)**

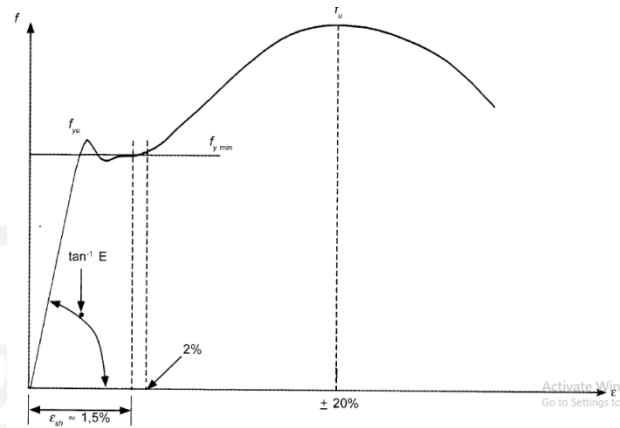
Baja tulangan beton jenis ini memiliki penampang bundar dan memiliki permukaan yang rata.

2. **Baja Tulangan Beton Sirip/Ulir (BJTS)**

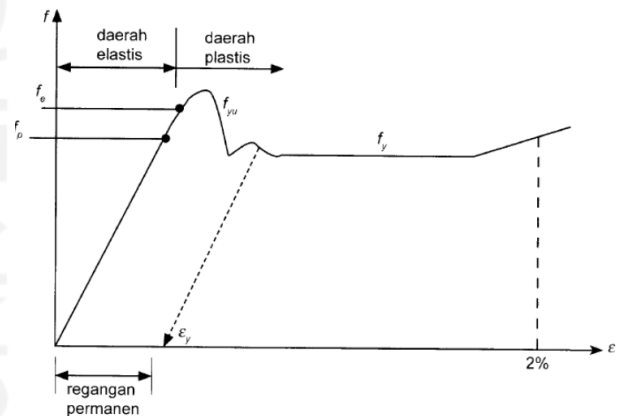
Baja tulangan beton jenis ini memiliki penampang bundar dengan permukaannya yang memiliki sirip atau ulir melintang dan memanjang dengan tujuan untuk meningkatkan daya rapat yang melekat dalam menahan adanya pergerakan membujur dari batang secara relatif terhadap beton Baja Tulangan Beton Sirip/Ulir.

3.6 Pengujian Baja

Seorang ahli mengatakan bahwa struktur harus dapat menguasai sifat-sifat mekanik pada baja supaya sifat dari suatu struktur baja dapat mudah untuk dipahami. Model pengujian yang paling cocok untuk material baja ialah melakukan uji tarik. Dalam hal ini, uji tekan tidak dapat memberi data yang sah mengenai sifat-sifat mekanik baja, hal tersebut dikarenakan beberapa faktor yakni terdapat potensi tekuk pada benda uji yg dapat berakibat terhadap ketidakstabilan benda uji (Setiawan, 2008). Grafik tegangan-regangan baja dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan 3.5.



Gambar 3.4 Kurva Hubungan Tegangan (f) vs Regangan (ε)
(Sumber: Setiawan,2008)



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

Gambar 3.4 dan 3.5 memperlihatkan hasil data dari uji tarik baja yang dilaksanakan pada suhu kamar dan dengan memberikan laju regangan yang normal. Pada sumbu vertikal terdapat Tegangan nominal (f), sedangkan di sumbu horizontal terdapat regangan (ε) yang merupakan pertambahan panjang dengan panjang awal (ΔL/L). Gambar 3.4 ialah hasil dari pengujian tarik pada suatu benda uji baja yang dilaksanakan sampai melewati batas optimum hingga mengakibatkan keruntuhan pada

benda uji. Pada Gambar 3.5 menunjukkan gambaran adanya perilaku dari benda uji yang mencapai regangan sebesar $\pm 2\%$ yang diperbesar sehingga lebih detail.

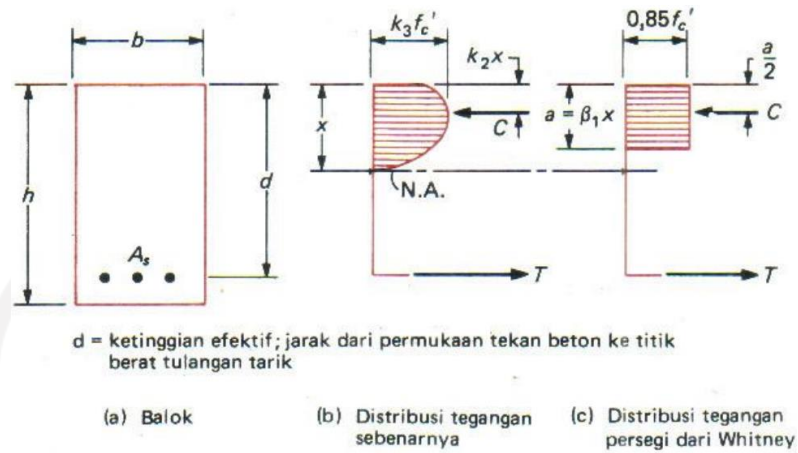
Keterangan titik-titik penting pada kurva tegangan-regangan:

f_p	= batas proporsional
f_c	= batas elastis
f_{yu}, f_y	= tegangan leleh atas dan bawah
f_u	= tegangan putus
ϵ_{sb}	= regangan saat mulai terjadi efek <i>strain-hardening</i>
ϵ_u	= regangan saat tercapainya tegangan putus

3.7 Beton Bertulang

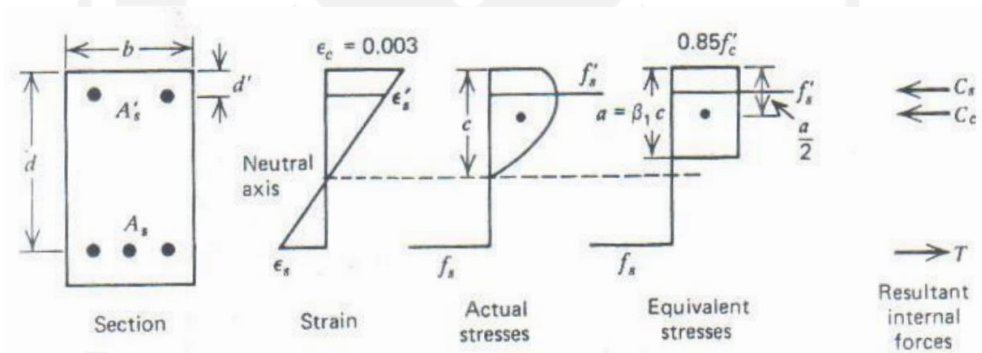
Beton bertulang ialah material komposit yang terdiri dari baja tulangan dan beton yang tertanam di dalam beton. Beton yang memiliki sifat utama yaitu sangat kuat terhadap kuat tekan namun lemah dalam menopang adanya gaya tarik. Dengan begitu perlu adanya baja tulangan untuk menahan gaya tarik, karena baja tulangan memiliki sifat utama yaitu sangat baik dalam menahan gaya tarik (Sumajouw dkk., 2013).

Balok beton bertulang terbagi menjadi dua macam yaitu balok beton bertulang tunggal dan balok beton bertulang rangkap. Perbedaan dari kedua jenis balok beton bertulang tersebut terdapat pada daerah tulangan memanjang yang dimiliki. Dimana tulangan memanjang pada balok beton bertulang tunggal hanya terdapat pada daerah tarik, sedangkan pada balok beton bertulang rangkap tulangan memanjang terdapat pada daerah tarik dan tekan. Tulangan memanjang merupakan tulangan yang berfungsi menahan momen lentur yang terletak memanjang dan searah dengan panjang balok. Diagram regangan tegangan antara balok beton bertulang tunggal dan balok beton bertulang rangkap dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7.



Gambar 3.6 Diagram Regangan Tegangan Balok Beton Bertulang Tunggal

(sumber: <http://martinsimatupang.lecture.ub.ac.id/files/2013/03/BALOK-PERSEGI.pdf>)



Gambar 3.7 Diagram Regangan Tegangan Balok Beton Bertulang Rangkap

(sumber: <http://martinsimatupang.lecture.ub.ac.id/files/2013/03/BALOK-PERSEGI.pdf>)

Berdasarkan diagram di atas didapatkan rumus M_n untuk masing-masing tipe balok beton bertulang tunggal, adapun rumus M_n dapat dilihat pada persamaan 3.6

$$C_c = 0,85 \times f'c \times a \times b \quad (3.6)$$

$$T_s = A_s \times f_y \quad (3.7)$$

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

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

Atau

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

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

Proses penentuan nilai M_n pada balok beton bertulang rangkap dapat menggunakan persamaan 3.14.

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

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

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

3.8 Sambungan Mekanis Coupler

Sambungan mekanis dapat dilakukan dengan mekanisme lewatan (*off set mechanical*) dan sambungan yang dilakukan dari ujung ke ujung (*in line mechanical*) merupakan prinsip dasar sambungan mekanis pada tulangan. Berdasarkan ACI 439.3R-91 sambungan mekanis dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

1. Sambungan Mekanis Tegangan Tekan

Mekanisme pada sambungan mekanis tegangan tekan adalah dengan terjadinya perpindahan tegangan tekan yang terjadi dari ujung satu tulangan ke ujung tulangan lainnya yang terdapat pada satu garis sumbu. Sambungan mekanis tegangan tekan terdiri dari beberapa jenis, yakni:

a) *Solid-Type Steel Coupling Sleeve*

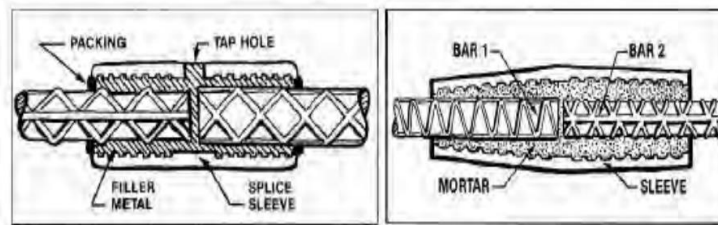


Gambar 3.8 Solid-type steel coupling sleeve

(Sumber: ACI 439.3R-91)

Sambungan tipe ini melakukan penggabungan dua baja tulangan menggunakan selongsong yang menyelimutinya, dimana pada selongsong terdapat sayap berlubang yang berfungsi untuk meletakkan baut pengencang. Baut pengencang berfungsi untuk mengunci sayap, sehingga kedua baja tulangan yang disambung dapat tergegamm. Kunci inggris atau kunci pas dapat digunakan dalam proses pengencangan baut, panjang lengan penghubung antara 203 mm sampai dengan 305 mm.

b) *Stell-Filled Coupling Sleeve*

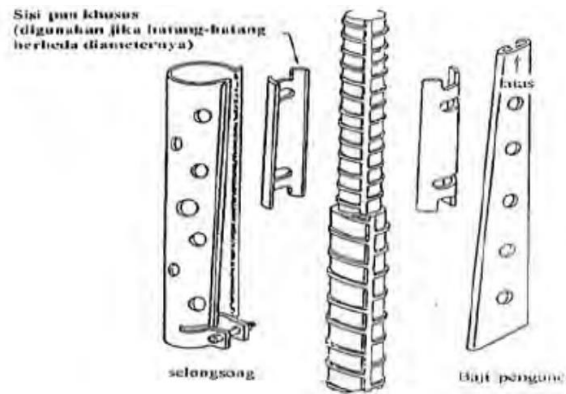


Gambar 3.9 *Stell-Filled Coupling Sleeve*

(Sumber: ACI 439.3R-91)

Sambungan tipe ini memiliki bentuk tabung dari logam penuh, untuk melakukan pengisian terdapat suatu lubang yang berada pada bagian tengah. Jenis dari material pengisiannya ialah mortar atau logam cair. Material dimasukkan ke dalam lubang kemudian ditekan, sehingga material dapat memasuki sela-sela tabung dan baja tulangan pada sepanjang lengan sambungan. Untuk baja tulangan berdiameter #18 memiliki panjang penyaluran 7 inch. Terdapat kelemahan dari sambungan ini ialah tidak dapat mengatur kuantitas dan kualitas dari isian secara visual, dalam proses pembentukannya memakan waktu 2-4 jam, dan tidak tahan panas.

c) *Wedge-Locking Coupling Sleeve*



Gambar 3.10 *Wedge-Locking Coupling Sleeve*

(Sumber: ACI 439.3R-91)

Sambungan tipe ini memiliki bentuk selongsong yang bersayap pada kedua sisinya, namun memiliki dimensi yang berbeda pada sepanjang lengannya. Sambungan ini dapat menyambungkan dua baja tulangan yang berbeda diameter, karena diameter sambungan pada ujung satu dan yang lain memiliki bentuk yang mengerucut. Cara kerja sambungan ini adalah dengan melakukan pengencangan baut pada jepitan secara lateral dan dengan memasukkan baji ke dalam tabung guna mendapatkan tingkat pengetatan sesuai dengan yang diharapkan. Sambungan ini memiliki panjang lengan antara 140 mm sampai dengan 305 mm.

2. Sambungan Mekanis Tegangan Tarik

Sambungan tipe ini dapat digunakan pada saat tulangan mengalami tegangan tarik seperti pada saat tulangan muai-susut atau tulangan lentur. Jenis dari sambungan mekanis tegangan tarik ialah sebagai berikut:

a) *Steel Coupling Sleeve with Wedge*



Gambar 3.11 Steel Coupling Sleeve with Wedge

(Sumber: ACI 439.3R-91)

Sambungan tipe ini memiliki dua bagian yaitu baji berbentuk pin dan lengan penghubung yang memiliki penampang oval. Lubang yang berada pada badan bagian atas sambungan disisipkan baji dengan cara ditekan diantara kedua baja tulangan. Proses pengetatan dilakukan menggunakan alat khusus pengencang hidrolis, dimana baji dimasukkan ke dalamnya kemudian digerakkan menekan lengan penghubung. Dari proses pengetatan tersebut akan dihasilkan baja tulangan yang tersambung secara *overlapping*. Ukuran baja tulangan yang dapat menggunakan sambungan ini adalah tulangan baja dengan diameter #3-#7, hanya dapat menggunakan satu baji untuk tulangan dengan diameter #4, #5, dan #6.

b) *Bar Splice Double Barrel*



Gambar 3.12 Bar Splice Double Barrel

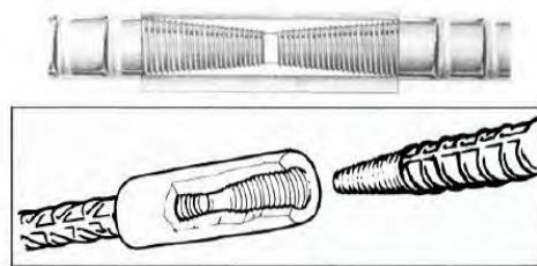
(Sumber: ACI 439.3R-91)

Sambungan ini terdiri dari lengan penghubung dan beberapa sekrup untuk mekanisme pengetatannya. Prosedur pemasangannya adalah baja tulangan disambung dimasukkan ke dalam selongsong lengan penghubung seperti pada gambar di atas dengan posisi *overlapping* pada baja tulangan, kemudian sekrup dikencangkan menekan baja tulangan hingga nilai kekuatan pengencangan yang telah ditentukan. Kekuatan dari pengencangan sekrup menyebabkan baja tulangan dan selongsong lengan penghubung terjadi *interlocking* sehingga proses transfer tegangan antar baja tulangan yang disambung akan terjadi. Sambungan ini dapat digunakan untuk menyambung baja tulangan dengan diameter yang berbeda.

3. Gabungan dari Tegangan Tarik-Tekan

Adapun jenis dari yang telah ada yaitu:

a) *Taper-Threaded Steel Coupler*



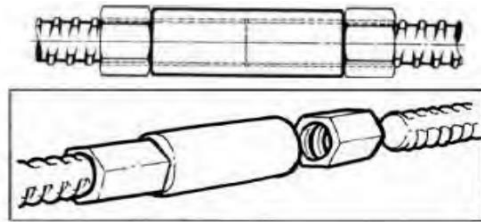
Gambar 3.13 *Taper-Threaded Steel Coupler*

(Sumber: ACI 439.3R-91)

Sambungan ini terdapat ulir meruncing di dalamnya, mekanisme dari penggunaan sambungan ini adalah dengan mencocokkan ulir meruncing yang terdapat pada sambungan dengan ujung baja tulangan. Pemasangan dilaksanakan dengan cara diaturnya ulir sambungan tulangan dan kemudian mencocokkan ukuran batang tulangan dengan sambungan. Pada proses memutar sambungan dan memverifikasi kekencangannya dapat menggunakan kunci pipa dan kunci pas torsi. Tulangan yang dapat digunakan

ialah tulangan dengan diameter #14 dan #18, dengan torsi minimum 200 ft-lb (270 Nm).

b) *Coupler for Thread-Deformed Bars Reinforcing*



Gambar 3.14 *Coupler for Thread-Deformed Bars Reinforcing*

(Sumber: ACI 439.3R-91)

Sambungan mekanis ini merupakan sambungan yang dilakukan perakitan dengan tenaga putaran/torsi, alat yang digunakan adalah kunci pas torsi hidrolik. Nilai torsi berkisar 150-750 ft-lb (203-1016 Nm) untuk #6- #11, 1500 dan 3000 ft-lb (2032 dan 4056 Nm) untuk #14 dan #18. Sambungan ini dapat digunakan untuk baja tulangan yang memiliki diameter berbeda. Batang baja tulangan harus memiliki jarak bersih $1,5 \times$ diameter baja tulangan dengan tujuan memberikan ruang untuk proses pengetatan.

3.9 Sambungan Lewatan (*Lap Splice*)

Berdasarkan SNI 2847:2019 tulangan yang memiliki diameter lebih dari D36 tidak diperbolehkan untuk menggunakan sambungan lewatan. Sambungan lewatan dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Sambungan lewatan kontak

Sambungan lewatan kontak memiliki nilai spasi bersih minimum antara sambungan lewatan lewatan yang berdekatan dan sambungan lewatan kontak harus sesuai dengan persyaratan untuk tulangan individual sesuai 25.2.1, yaitu spasi bersih tulangan non prategang dengan posisi sejajar pada satu lapisan

horizontal memiliki nilai yang tidak lebih kecil dari nilai terbesar dari 25 mm, d_b , dan $(4/3) d_{agg}$.

2. Sambungan lewatan non kontak

Pada bagian lentur spasi antar pusat arah melintang dari tulangan lewatan tidak boleh melebihi yang terkecil dari 1/5 panjang sambungan lewatan yang dibutuhkan dan 150 mm.

Panjang penyaluran l_d digunakan guna mendapatkan panjang lewatan berdasarkan nilai f_y , karena penulangan yang berlebih pada lokasi dimana sambungan lewatan terpasang ditunjukkan oleh pembagian jenis sambungan lewatan tersebut. Sistem penyambungan dibagi menjadi dua, yaitu untuk batang ulir dengan kawat ulir dan batang ulir dengan las. Untuk batang ulir kawat ulir, l_d dapat dihitung dengan:

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f'c}} \frac{\Psi_t\Psi_e\Psi_s}{\left(\frac{C_b+K_{tr}}{d_b}\right)} \right) d_b \quad (3.21)$$

dengan:

C_b = jarak terkecil dari jarak pusat batang tulangan ke permukaan beton terdekat dan setengah spasi pusat ke pusat batang tulangan yang disalurkan.

d_b = diameter nominal batang tulangan (mm)

l_d = Panjang penyaluran (mm)

f_y = Kuat leleh tulangan (Mpa)

$f'c$ = Kuat tekan beton (Mpa)

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

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

Dimana n ialah jumlah batang yang disambung menggunakan sambungan lewatan sepanjang bidang pembelahan. Diperbolehkan memakai $K_{tr} = 0$ untuk penyederhanaan desain walaupun tulangan transversal.

Sambungan lewatan dalam kondisi tarik dapat dikategorikan pada kelas A atau kelas B, dengan panjang penyaluran tekan l_d dihitung berdasarkan persamaan 3.21.

Klasifikasi kelas Panjang sambungan lewatan batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi Tarik dapat dilihat pada Tabel 3.5

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

$A_{s,t}/A_{s,p}^{[1]}$ sepanjang sambungan lewatan	Maksimum persentase dari A_s lewatan dalam panjang lewatan yang diperlukan	Tipe <i>sambungan</i> <i>lewatan</i>	ℓ_{st}	
			terbesar dari	
$\geq 2,0$	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	terbesar dari	$1,3 \ell_d$ dan 300 mm

(Sumber: SNI 2847:2019)

Dengan adanya persyaratan mengenai sambungan lewatan, pada kondisi tarik mengakibatkan letak dari sambungan lewatan memiliki posisi yang semakin jauh dari daerah tegangan tarik yang tinggi ke lokasi tulangan yang digunakan. Apabila terdapat tulangan yang memiliki dimensi berbeda maka ℓ_{st} pada sambungan lewatan pada kondisi tarik harus memiliki nilai yang lebih besar dari ℓ_d .

BAB IV METODOLOGI

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian adalah sebuah metode yang digunakan pada sebuah penelitian, sehingga mulai dari proses penelitian sampai didapatkan hasil penelitian dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Sebagai penelitian ilmiah, penelitian harus dilakukan secara sistematis agar mendapatkan hasil yang memuaskan dan dapat dipertanggungjawabkan. Metode yang digunakan pada penelitian ini merupakan metode eksperimental, dimana metode ini merupakan metode yang dilaksanakan dengan melakukan suatu percobaan yang dilakukan secara langsung dan sistematis. Tujuan dari metode eksperimental adalah guna memperoleh suatu data atau hasil yang menghubungkan antara variable-variabel yang diteliti.

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

4.2 Metode Pengambilan Data

Pada penelitian ini terdapat jenis metode yang dilakukan ialah metode pengambilan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dengan dilakukannya pengujian menggunakan benda uji sedangkan data sekunder diperoleh dengan dilakukannya pengkajian terhadap penelitian-penelitian sebelumnya.

4.3 Bahan-Bahan yang Digunakan

Sebelum penelitian dilaksanakan, perlu dipersiapkan bahan-bahan yang akan digunakan, hal tersebut bertujuan supaya pelaksanaan penelitian dapat berjalan dengan lancar. Bahan-bahan yang diperlukan dalam proses pembuatan pada benda uji adalah sebagai berikut:

1. Bahan-bahan beton bertulang
 - a. Semen Portland Tipe I
 - b. Agregat halus dan agregat kasar yang diambil dari Gunung Merapi
 - c. Air yang terdapat pada Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Prodi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
 - d. Baja tulangan ulir pokok D13 dan tulangan ulir Sengkang P10
2. Bahan untuk sambungan mekanis menggunakan Socket atau rebar coupler

4.4 Peralatan penelitian

Penelitian yang akan dilakukan menggunakan peralatan yang terdapat di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Prodi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Peralatan yang akan digunakan pada penelitian antara lain:

1. Saringan dan *Vibrator* saringan
2. Timbangan berkapasitas 20 kg
3. *Mixer* atau pengaduk beton
4. Cetakan silinder dengan dimensi 150 mm dan tinggi 300 mm
5. Bekisting balok yang terbuat dari kayu dengan dimensi 200 × 300 × 2000 mm
6. Alat uji tekan silinder beton (*Compression Testing Machine*)
7. *Crane* adalah alat yang memiliki fungsi untuk memindahkan benda uji dari satu tempat ke tempat lain. pada penelitian yang berguna untuk mobilitas benda uji balok bertulang.
8. *Load cell* alat yang berfungsi untuk membaca beban pada beton
9. *Data logger* merupakan alat yang digunakan untuk membaca dan menampilkan data dari pengujian
10. Alat bantu lain seperti ember, wadah, kuas, cangkul, palu, alat uji *slump*, oven, sekop, dll.

4.5 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat benda uji berbentuk silinder dengan dimensi diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 3 buah dengan beton normal $f'c = 25$ Mpa, beda uji tulangan ulir pokok D13 dengan sambungan lewatan, sambungan *coupler*, dan tanpa sambungan yang ditetapkan tegangan leleh = 420 Mpa. Benda uji balok beton bertulang dengan dimensi $200 \times 300 \times 2000$ mm berjumlah 1 buah untuk masing-masing tipe sambungan. Pemeriksaan ini berpedoman pada SNI-2847-2019- Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Penelitian akan dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Adapun tahapan-tahapan yang dilaksanakan pada penelitian ini meliputi:

1. Tahapan Persiapan

Tahapan ini mencakup persiapan alat dan bahan yang akan digunakan pada proses pembuatan benda uji pada penelitian Tugas Akhir.

2. Tahapan Pengujian Material

Pada tahapan ini dilakukan pengujian terhadap agregat halus, agregat kasar, tulangan baja, dan sambungan mekanis *coupler*.

a. Pengujian agregat terdiri dari pengujian:

1) Agregat halus:

- a) Uji berat jenis
- b) Uji modulus halus butir
- c) Uji kandungan lumpur (uji lolos saringan No.200)

2) Agregat kasar:

- a) Uji berat jenis
- b) Uji modulus halus butir

Tujuan dari pengujian tersebut untuk mengetahui karakteristik dan sifat dari material yang akan digunakan.

b. Pengujian baja

Pengujian baja yang dilaksanakan adalah pengujian kuat Tarik baja menggunakan alat *Universal Testing Machine (UTM)*. Pengujian baja bertujuan untuk mengetahui apakah tegangan maksimum dan tegangan leleh mencapai nilai yang sudah ditetapkan atau belum.

3. *Mix design* untuk Benda Uji Silinder dan Benda Uji Balok

Pada tahapan ini dilaksanakan penentuan rencana percobaan campuran beton (*trial mix design*) yang berpedoman pada SNI-2847-2019-Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Berikut merupakan data rencana beton:

- a. Kuat tekan beton rencana 25 Mpa
- b. Semen Portland tipe 1

4. Tahapan Pembuatan Benda uji Silinder dan Benda Uji Balok Bertulang

Pada tahapan ini dilakukan pembuatan benda uji yang terdiri dari benda uji beton silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 3 buah dengan beton normal $f'c = 25$ Mpa. Kode untuk benda uji silinder adalah BUS1, BUS2, BUS3.

Benda uji silinder dibuat bersamaan dengan pembuatan benda uji balok bertulang. Tahap awal sebelum pembuatan benda uji balok bertulang adalah membuat bekisting balok sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan. Kemudian bekisting balok perlu diberi pelumas untuk memudahkan dalam proses pelepasan. Selanjutnya dirakit tulangan balok sesuai rencana, pembuatan benda uji balok bertulang dibuat sebanyak 3 buah dengan dimensi $200 \times 300 \times 2000$ mm. Benda uji memiliki tipe sambungan tulangan yang berbeda. Tipe sambungan pada balok beton bertulang sebagai berikut:

- a. balok beton bertulang dengan tulangan tanpa sambungan sebagai balok kontrol dibuat sebanyak 1 buah dan diberi kode BKT,
- b. balok beton bertulang dengan sambungan lewatan (*lap splice*) diberi kode BKL dibuat sebanyak 1 buah,

- c. balok beton bertulang dengan sambungan mekanis tipe *coupler* diberi kode BKC dibuat sebanyak 1 buah.

Setelah benda uji dengan masing-masing tipe sambungan yang diletakkan pada tengah bentang telah dirakit di atas bekisting, selanjutnya dilakukan pengecoran terhadap Benda Uji Balok Beton Bertulang.

5. Perawatan Benda Uji Balok Bertulang dan Benda Uji Silinder

Pada tahapan ini dilakukan pelepasan bekisting pada Benda Uji Balok Bertulang yang sudah mencapai 3 hari pasca pengecoran dan pelepasan cetakan pada beton silinder yang sudah mencapai 1 hari pasca penuangan beton segar ke dalam cetakan. Selanjutnya dilakukan perawatan dengan cara benda uji ditutup karung goni dan disiram selama ± 14 hari

6. Tahapan Pengujian dan Analisis Benda Uji Silinder

Pada tahapan ini dilakukan pengujian kuat tekan beton terhadap benda uji beton silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 3 buah yang telah mencapai umur rencana ± 14 hari. Pengujian akan dilakukan menggunakan alat *Compression Testing Machine*. Setelah pengujian selesai, selanjutnya adalah mengolah dan menganalisis data yang diperoleh. Tujuan pengolahan data ialah guna mengetahui kuat tekan beton dari benda uji silinder. Setelah mengetahui nilai kuat tekan beton dari 3 sampel, kemudian diambil nilai kuat tekan beton rata-rata, sehingga dapat disimpulkan apakah nilai kuat tekan beton sudah mencapai kuat tekan beton rencana atau belum. Jika belum mencapai kuat tekan beton rencana maka perlu diadakan pengujian ulang.

7. Tahapan Pengujian dan Analisis Benda Uji Balok

Pada tahapan ini dilakukan pengujian kuat lentur terhadap balok beton bertulang. Pengujian ini akan dilakukan dengan cara menambahkan beban monotorik menggunakan pompa hidraulik yang bertujuan untuk memberikan penambahan beban pada benda uji.

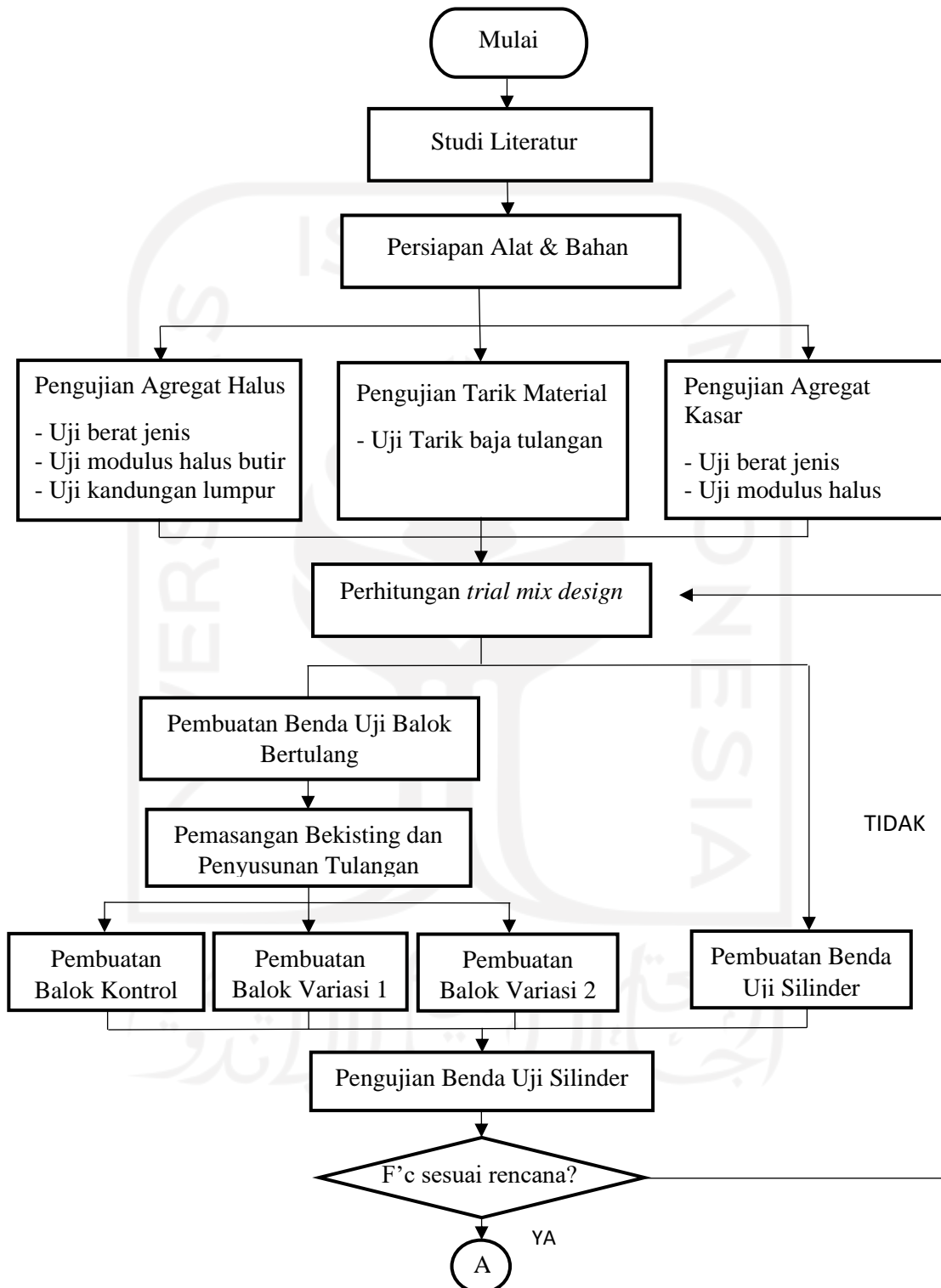
8. Tahapan Kesimpulan

Tahapan ini merupakan suatu proses pembuatan kesimpulan hasil penelitian yang telah dianalisa dan berhubungan dengan tujuan penelitian.

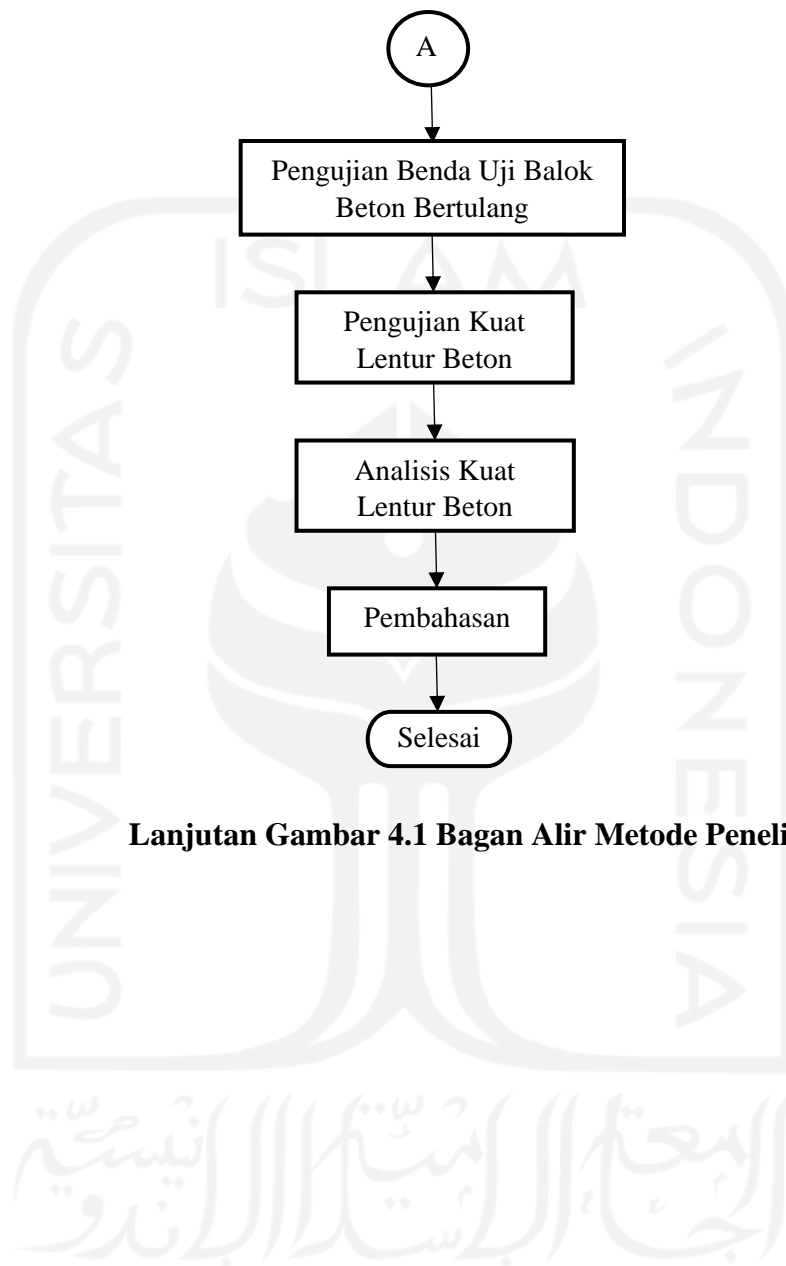
4.6 Bagan Alir Metode Penelitian

Tahapan-tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1.





Gambar 4.1 Bagan Alir Metode Penelitian



Lanjutan Gambar 4.1 Bagan Alir Metode Penelitian

4.7 Time Schedule

Time schedule penelitian yang akan dilaksanakan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Time Schedule Penelitian yang Akan Dilaksanakan

Bulan ke-		1				2				3			
Minggu ke-		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Kegiatan	Hari												
1. Persiapan	5	5											
2. Pengujian Material	4		4										
4. Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)	2		2										
3. Pembuatan dan Perawatan Benda Uji	35			35									
5. Pengujian Benda Uji													
a. Uji Kuat Tekan Beton Silinder	1								1				
b. Uji Kuat Lentur Balok Beton Bertulang	3								3				
6. Analisis Data													
a. Analisis Data Uji Desak Beton Silinder	7									7			
b. Analisis Data Uji Lentur Balok Beton Bertulang	7										7		
7. Pembahasan dan Kesimpulan	4											4	
8. Penyusunan Laporan	7												7
Total	75	5	6	35	0	0	0	0	4	7	7	4	7
		5	11	46	46	46	46	46	50	57	64	68	75

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Material

Material yang akan digunakan sebagai bahan penyusun beton perlu dilakukan pengujian terlebih dahulu guna mengetahui karakteristik dan sifat dari setiap material yang akan digunakan. Selain itu, hasil dari pengujian tersebut juga diperlukan untuk perhitungan rencana campuran beton (*mix design*).

5.1.1 Pengujian Agregat Halus

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian terhadap agregat halus antara lain, uji berat jenis dan penyerapan air agregat, uji modulus halus butir, uji berat volume padat/gembur, dan uji kandungan lumpur (uji lolos saringan No.200).

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Rekapitulasi hasil pengujian dan analisis berat jenis dan penyerapan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Uraian	Hasil
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	493,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1033,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	723
Berat jenis curah $Bk/(B+500-Bt)$	(1) 2,604
Berat jenis jenuh kering muka $500/(B+500-Bt)$	(2) 2,639
Berat jenis semu $Bk/(B+Bk-Bt)$	(3) 2,697
Penyerapan air, % $(500 - Bk) / Bk \times 100 \%$	(4) 1,317 %

Berdasarkan analisis data dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus, diperoleh hasil berat jenis muka (SSD) agregat halus sebesar 2,639. Nilai berat jenis kering muka (SSD) yang sudah didapat selanjutnya digunakan pada proses perencanaan campuran beton (*mix design*). Selain itu didapatkan pula rasio penyerapan air agregat halus sebesar 1,317%. Berdasarkan SNI 03-1970-1990 nilai yang didapat memenuhi syarat, dimana persyaratan untuk nilai berat jenis muka (SSD) agregat halus antara 2,5-2,7 dan rasio penyerapan air agregat halus sebesar $\leq 5\%$.

2. Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus

Rekapitulasi hasil pengujian modulus halus butir agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2.

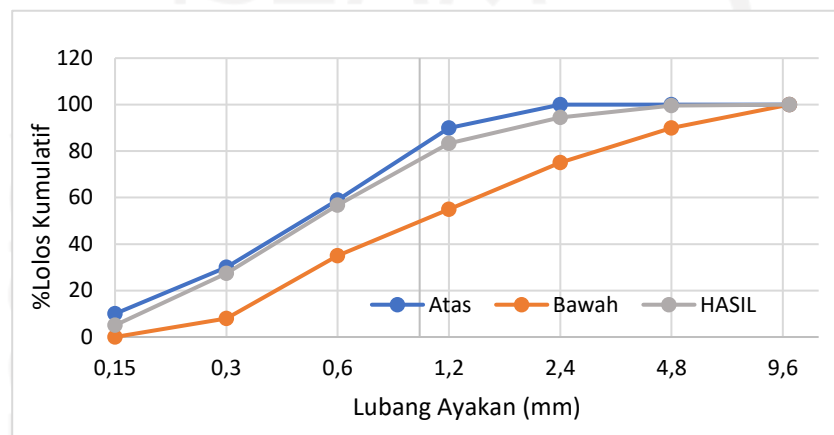
Tabel 5.2 Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
10	0	0	0	100
4,8	8	0,40	0,40	99,6
2,4	101	5,05	5,45	94,55
1,2	225	11,25	16,7	83,3
0,2	531	26,55	43,25	56,75
0,3	586	29,30	72,55	27,45
0,15	448	22,40	94,95	5,05
Sisa	101	5,05	100	0
Jumlah	2000	100	233,3	366,7

Berdasarkan tabel rekapitulasi hasil pengujian modulus halus butir di atas, maka dapat dilakukan perhitungan guna mengetahui nilai modulus halus butir dengan cara sebagai berikut.

$$\text{Modulus Halus Butir (MHB)} = \frac{233,3}{100} = 2,333$$

Hasil yang telah didapatkan dari pengujian MHB, selanjutnya akan digunakan dalam proses penentuan gradasi untuk agregat halus. Berdasarkan SNI 03-1968-1990 hasil pengujian MHB berada pada batas yang sudah disyaratkan, yaitu pada gradasi daerah II. Kurva gradasi agregat halus dari hasil perhitungan diatas dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Analisis Saringan Agregat Halus

3. Pengujian Kandungan Lumpur Agregat Halus (Uji Lolos Saringan No.200)
Rekapitulasi hasil pengujian dan analisis kandungan lumpur agregat halus dapat dilihat pada table 5.3.

Tabel 5.3 Pengujian Kandungan Lumpur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat Agregat Kering Oven, gram (w1)	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci, gram (w2)	495,5
Berat yang Lolos Ayakan No.200, % $((w1 - w2) / w1) \times 100\%$	0,9%

Berdasarkan Tabel 5.3 didapatkan nilai kandungan lumpur pada agregat halus sebesar 0,9%, sedangkan persyaratan dari PUBI-1982 berat yang lolos ayakan No.200 untuk pasir maksimum 5%. Dengan begitu dapat disimpulkan bahwa nilai kandungan lumpur pada agregat halus yang sudah didapat sudah memenuhi persyaratan.

4. Pengujian Berat Volume

a. Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus

Hasil dari pengujian berat isi gembur agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil
Berat tabung (w1), gram	5348
Berat tabung + agregat kering oven (w2), gram	12295,5
Berat agregat (w3), gram	6949,5
Volume tabung (v), cm ³	5269,3479
Berat volume gembur = (w3/v), gram/cm ³	1,31885

Berdasarkan tabel 5.4. di atas didapatkan hasil berat volume gembur pada agregat kasar sebesar 1,3189 gram/cm³, nilai tersebut sudah sesuai dengan syarat SNI 03-4804-1998 yang menyebutkan bahwa nilai berat volume gembur disyaratkan antara 1,2-1,7.

b. Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus

Hasil dari pengujian berat isi padat agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil
Berat tabung (w1), gram	5348
Berat tabung + agregat kering oven (w2), gram	13429,5
Berat agregat (w3), gram	8081
Volume tabung (v), cm ³	5269,3479
Berat volume gembur = (w3/v), gram/cm ³	1,5337

Berdasarkan Tabel 5.5. di atas didapatkan hasil berat volume gembur pada agregat kasar sebesar 1,5337 gram/cm³, nilai tersebut sudah sesuai dengan syarat SNI 03-4804-1998 yang menyebutkan bahwa nilai berat volume padat disyaratkan antara 1,2-1,7.

5.1.2 Pengujian Agregat Kasar

Pada penelitian ini dilakukan pengujian agregat kasar antara lain, uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, uji modulus halus butir, dan uji berat volume padat/gembur.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Rekapitulasi hasil dan analisis pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Uraian	Hasil
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	4925,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	5000
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	3070
Berat jenis curah Bk/(Bj - Ba)	(1) 2,552

Lanjutan Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Uraian		Hasil
Berat jenis jenuh kering muka $B_j/(B_j - B_a)$	(2)	2,591
Berat jenis semu $B_k/(B_k - B_a)$	(3)	2,655
Penyerapan air, % $(B_j - B_k)/ B_k \times 100 \%$	(4)	1,513 %

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar, diperoleh nilai berat jenis kering muka (SSD) agregat kasar sebesar 2,591. Nilai tersebut selanjutnya akan digunakan pada proses perencanaan campuran beton (*mix design*). Selain itu, didapatkan juga rasio penyerapan air pada agregat kasar sebesar 1,513%.

2. Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Kasar

Rekapitulasi hasil pengujian dan analisis modulus halus butir pada agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.7.

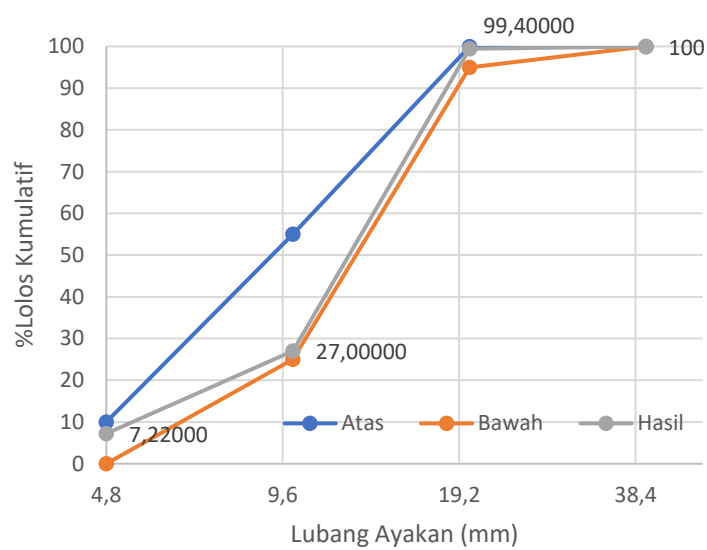
Tabel 5.7 Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
20	30	0,6	0,6	99,4
10	3620	72,4	73	27
4,8	989	19,78	92,78	7,22
2,4	22	0,44	93,22	6,78
1,2	0	0	93,22	6,78
0,6	0	0	93,22	6,78
0,3	0	0	93,22	6,78
0,15	0	0	93,22	6,78
Sisa	86	1,72000	95	5
Jumlah	4747	95	632,48000	272,58000

Berdasarkan tabel rekapitulasi hasil pengujian modulus halus butir pada agregat kasar di atas, maka dapat dilakukan perhitungan guna mengetahui nilai modulus halus butir dengan cara sebagai berikut.

$$\text{Modulus Halus Butir (MHB)} = \frac{632,48}{100} = 6,3248$$

Dari hasil pengujian MHB pada agregat kasar diatas, didapatkan kurva gradasi agregat kasar seperti pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik Gradasi Agregat Kasar

3. Pengujian Berat Volume

a. Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar

Hasil dari pengujian berat isi gembur agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil
Berat tabung (w1), gram	10724
Berat tabung + agregat kering oven (w2), gram	18710,5
Berat agregat (w3), gram	7986,5

Lanjutan Tabel 5.8 Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil
Volume tabung (v), cm ³	5188,3967
Berat volume gembur = (w3/v), gram/cm ³	1,5393

Berdasarkan Tabel 5.8 di atas didapatkan hasil berat volume gembur pada agregat kasar sebesar 1,5393 gram/cm³, nilai tersebut sudah sesuai dengan syarat SNI 03-4804-1998 yang menyebutkan bahwa nilai berat volume gembur disyaratkan antara 1,2-1,7.

b. Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar

Hasil dari pengujian berat isi padat agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil
Berat tabung (w1), gram	10724
Berat tabung + agregat kering oven (w2), gram	18710,5
Berat agregat (w3), gram	7986,5
Volume tabung (v), cm ³	5188,5
Berat volume gembur = (w3/v), gram/cm ³	1,5393

Berdasarkan Tabel 5.5 di atas didapatkan hasil berat volume gembur pada agregat kasar sebesar 1,5939 gram/cm³, nilai tersebut sudah sesuai dengan syarat SNI 03-4804-1998 yang menyebutkan bahwa nilai berat volume padat disyaratkan antara 1,2-1,7.

5.2 Perhitungan Percobaan Rencana Campuran Beton (Trial Mix Design)

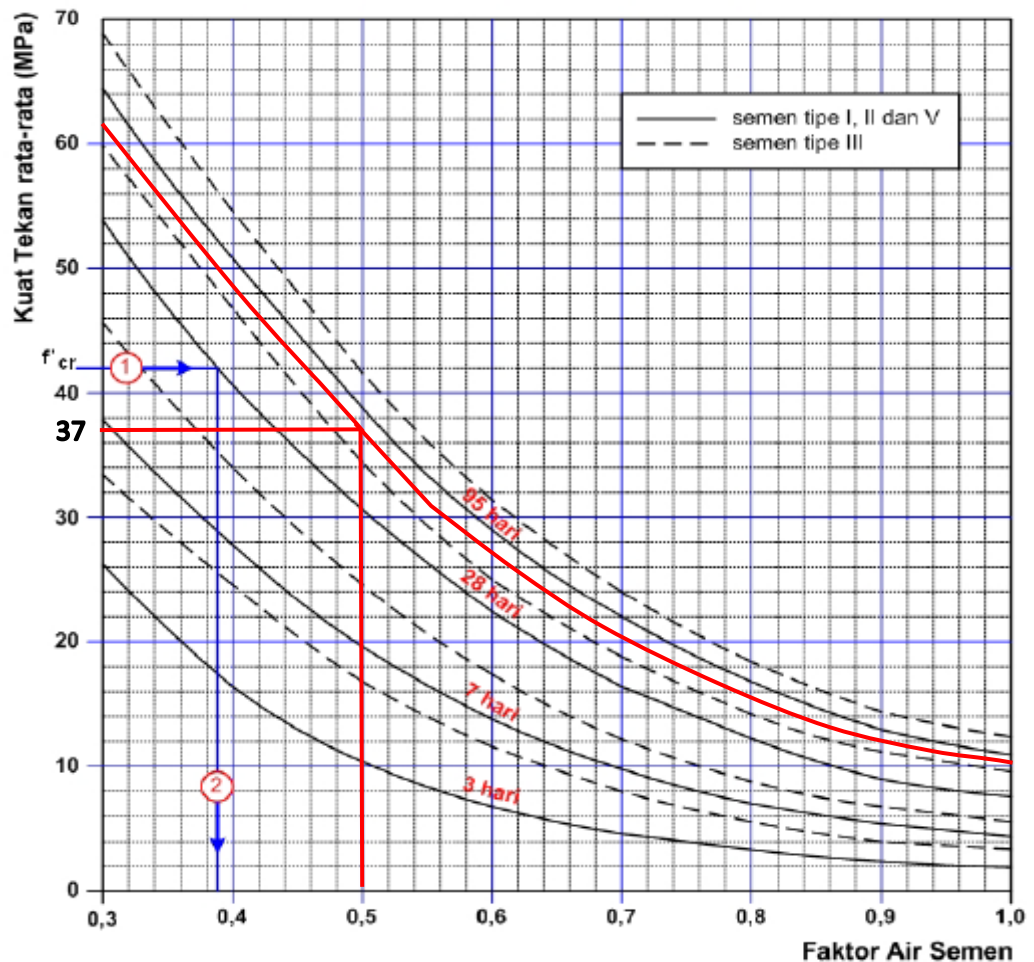
Pada penelitian ini SNI 03-2834-2000 digunakan sebagai acuan dalam menentukan metode perencanaan campuran beton (*trial mix design*). Untuk keterangan yang lebih lengkap terkait langkah-langkah perhitungan rencana

campuran beton (*mix design*) dapat dilihat pada sub bab 3.2. Untuk perhitungan *trial mix design* untuk sampel benda uji silinder.

1. Kuat tekan atau kuat desak rencana ($f'c$) sebesar 25 MPa dengan benda uji berbentuk silinder.
2. Semen yang digunakan adalah semen Portland Tipe I
3. Berdasarkan pengujian analisis saringan, didapatkan hasil bahwa agregat kasar yang diuji memiliki ukuran maksimal sebesar 20 mm.
4. Berdasarkan pengujian analisis saringan, didapatkan hasil bahwa susunan butiran dari agregat halus masuk ke dalam daerah gradasi no.2.
5. Sampel yang akan dibuat pada penelitian ini sebanyak 3 buah silinder, yang mana sampel berjumlah kurang dari 15 buah. Maka, dapat diambil nilai tambah kuat tekan rencana (M) sebesar 12 Mpa sesuai dengan Tabel 3.2.
6. Dari persamaan 3.6 didapatkan persamaan kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f_{cr}) sebagai berikut.

$$\begin{aligned} f_{cr} &= 25 + 12 \\ &= 37 \text{ MPa} \end{aligned}$$

7. Menentukan faktor air semen (FAS)
 - a. Berdasarkan Tabel 3.2, jika semen yang digunakan merupakan jenis semen Portland tipe I dan jenis agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah, perkiraan kekuatan tekan beton benda uji silinder pada umur beton 28 hari dapat mencapai 37 MPa.
 - b. Nilai FAS didapatkan dari perhitungan sebelumnya dengan bantuan Gambar 3.2, hasil nilai FAS yang diperoleh pada saat $f_{cr} = 37 \text{ MPa}$



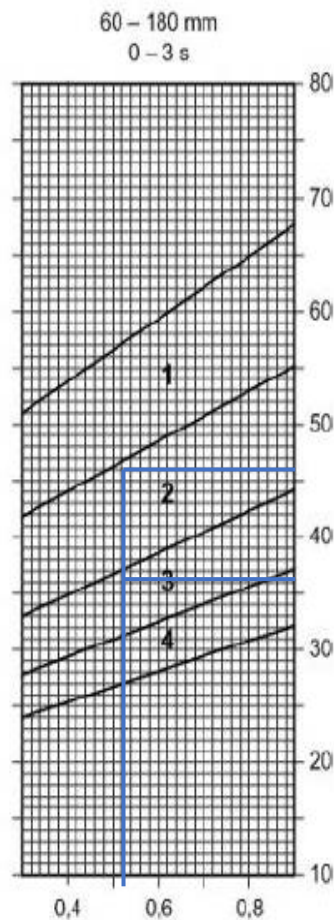
Gambar 5.3 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan FAS

Dari gambar 5.3. didapatkan nilai FAS rencana sebesar 0,5. Nilai tersebut harus memenuhi persyaratan yang tertera pada Tabel 3.5. dimana nilai FAS harus tidak melebihi nilai maksimum dan jumlah semen harus lebih besar dari nilai minimum.

Beton uji ini direncanakan nantinya akan diletakkan di dalam ruangan bangunan dengan keadaan kelilingnya non-korosif, sehingga nilai FAS maksimum ialah 0,6. Sehingga nilai yang digunakan sebesar 0,5.

8. Nilai *slump* rencana yang digunakan berada di antara nilai 60-180 mm, yaitu sebesar 110-140 mm.

9. Menentukan kadar air bebas dapat menggunakan acuan Tabel 3.4. dimana pada tabel tersebut dijelaskan jika nilai slump berada antara 160-180, dengan besar agregat kasar berupa batu pecah dan nilai butir maksimum sebesar 20 mm, maka kadar air bebas sebesar 225 kg/m^3 .
10. Jumlah semen yang digunakan per m^3 beton.
- Nilai kadar semen dapat diperoleh menggunakan persamaan 3.3.
$$\begin{aligned} \text{Kadar semen} &= \frac{205}{0,3} \\ &= 410 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$
 - Berdasarkan Tabel 3.5, beton yang akan diletakkan di dalam ruangan bangunan dengan keadaan kelilingnya non-korosif memiliki nilai semen minimum per m^3 beton sebesar 410 Kg.
11. Nilai presentase agregat halus dapat diperoleh dengan melihat Gambar 3.9. Dimana dengan nilai slump utama sebesar 60-180 dan butiran agregat halus memiliki susunan yang masuk pada gradasi no.2, sehingga dapat diperoleh nilai presentase seperti pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Grafik Presentase Agregat Halus

$$\text{Presentase agregat halus} = \frac{46-37}{2} \times 100$$

$$= 41,5 \%$$

$$\text{Presentase agregat kasar} = 100 \% - 41,5 \%$$

$$= 58,5 \%$$

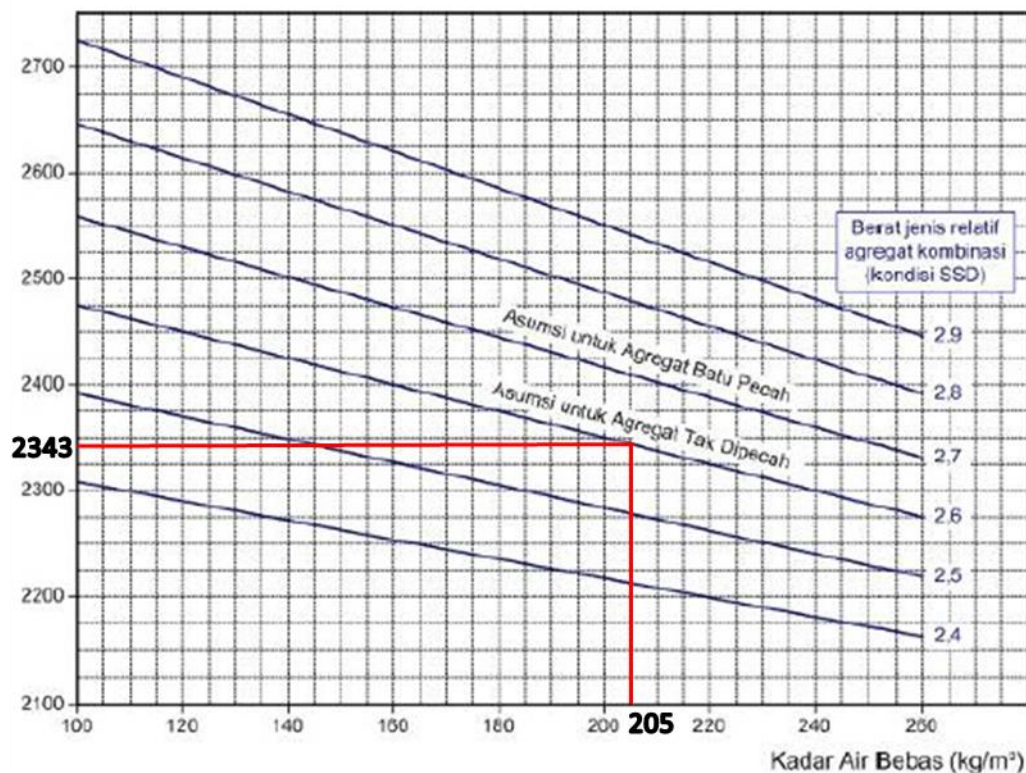
12. Berdasarkan pengujian material yang telah dilaksanakan, maka didapatkan nilai berat jenis agregat halus sebesar $2,6178 \text{ gram/cm}^3$ dan berat jenis agregat kasar sebesar $2,648305 \text{ gram/cm}^3$. Setelah didapatkan kedua berat jenis, kemudian dilakukan perhitungan berat jenis gabungan sebagai berikut:

$$BJ_{AG} = \left(\frac{\% AH}{100} \times BJ_{AH} \right) + \left(\frac{\% AK}{100} \times BJ_{AK} \right)$$

$$= \left(\frac{41,5}{100} \times 2,6178 \right) + \left(\frac{58,5}{100} \times 2,648305 \right)$$

$$= 2,64 \text{ gram/cm}^3$$

13. Grafik 3.10 dapat dijadikan sebagai acuan dalam proses penentuan berat isi beton, dimana diketahui nilai kadar air bebas sebesar 205 kg/m^3 dan berat jenis agregat gabungan sebesar $2,64 \text{ gram/cm}^3$. Perkiraan berat isi beton basah didapatkan dari Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5.5 Grafik Isi Beton

Berdasarkan gambar 5.5 Didapatkan nilai berat isi beton sebesar 2343 kg/m^3 .

5.3 Analisis Data *Trial Mix Design*

Trial mix design dilakukan pada 3 buah sampel silinder beton. Beton silinder dirawat dengan cara dibungkus dengan karung goni, kemudian disiram setiap harinya. Pengujian *trial mix design* dilaksanakan pada saat beton berumur 14 hari dengan bantuan alat mesin uji tekan beton (*compression testing machine*). Pengujian *trial mix design* dilaksanakan guna mengetahui nilai kuat desak ($f'c$)

silinder beton, Jika hasil pengujian sudah mencapai f'_c rencana maka *mix design* dapat digunakan untuk menentukan proporsi campuran *mix design* untuk beda uji utama yaitu balok bertulang yang akan dilakukan pengujian kuat lentur nantinya. Pengujian *Trial mix design* silinder beton dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Pengujian *Trial Mix Design* Silinder Beton

Hasil analisis dari pengujian trial mix design dapat dilihat pada Tabel 5.6 Berikut contoh perhitungan kuat tekan silinder beton.

1. Diketahui:

$$\text{Diameter (d)} = 150,8$$

$$\begin{aligned} 2. A &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 150,8^2 \\ &= 17860,45689 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. P &= 540 \text{ kN} \\ &= 540000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4. f'_c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{540000}{17860,45689} \\ &= 30,2344 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Dari Analisa perhitungan *trial mix design* di atas, didapatkan nilai rata-rata kuat desak (f'_c) silinder beton sebesar 30,2344 MPa, sedangkan f'_c rencana silinder beton sebesar 25 Mpa. Hal tersebut menunjukkan bahwa proporsi campuran beton dari *trial mix design* dapat digunakan sebagai acuan *mix design* untuk balok uji utama yaitu balok beton bertulang. Rekapitulasi hasil pengujian trial mix design dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Pengujian Trial Mix Design

Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas penampang (mm ²)	Beban Maks. (kN)	f'_c (Mpa)
Silinder 1	150,8	299,6	17860,45689	540	30,2344
Silinder 2	149,3	289,3	17506,9099	455	25,9897
Silinder 3	149,7	299,4	17600,8435	575	32,6689

5.4 Perhitungan Proporsi Campuran Benda Uji Utama

Hasil perhitungan proporsi campuran beton dari *trial mix design* benda uji silinder yang telah dilakukan, kemudian digunakan untuk proporsi campuran beton benda uji utama. Perhitungan proporsi benda uji utama dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Proporsi campuran beton yang dibutuhkan untuk setiap 1 m³ beton adalah sebagai berikut.
 - a. Semen = 410 kg
 - b. Air = 205 kg
 - c. Agregat halus = 731 kg
 - d. Agregat kasar = 1030 kg
2. Penentuan proporsi campuran masing-masing beton uji dilakukan dengan cara menentukan perhitungan volume beton uji silinder dan balok terlebih dahulu. Penentuan volume benda uji dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

a. Volume balok

Diketahui:

$$(b = 0,2\text{m}; h = 0,3\text{m}; L = 2 \text{ m})$$

$$\begin{aligned}\text{Volume balok} &= b \times h \times L \\ &= 0,2 \times 0,3 \times 0,2 \\ &= 0,12 \text{ m}^3\end{aligned}$$

b. Volume silinder

Diketahui:

$$(d = 0,15 \text{ m}; h = 0,3 \text{ m})$$

$$\begin{aligned}\text{Volume Silinder} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times h \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\ &= 0,005301 \text{ m}^3\end{aligned}$$

3. Dalam pelaksanaannya, *mix design* dikalikan angka penyusutan sebesar 20% dengan tujuan untuk menghindari kekurangan campuran beton pada saat proses pembuatan benda uji. Angka penyusutan beton 20% ini digunakan untuk 3 benda uji balok beton uji dan satu buah silinder kontrol untuk setiap balok uji. Dengan volume yang dimiliki balok beton bertulang dan beton silinder masing-masing sebesar $0,12 \text{ m}^3$ dan $0,005301 \text{ m}^3$, maka proporsi material yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

$$\text{Material} = \text{Proporsi} \times 1 \text{ m}^3 \times \text{nilai penyusutan} \times \text{jumlah beton} \times \text{volume}$$

1) Proporsi untuk benda uji balok beton

$$\begin{aligned}\text{a) Semen} &= 410 \times 120 \% \times 3 \times 0,12 \\ &= 177,12 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{b) Air} &= 205 \times 120 \% \times 3 \times 0,12 \\ &= 88,56 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{c) Agregat halus} &= 731 \times 120 \% \times 3 \times 0,12 \\ &= 315,792 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{d) Agregat kasar} &= 1030 \times 120 \% \times 3 \times 0,12 \\ &= 444,96 \text{ kg}\end{aligned}$$

2) Proporsi untuk benda uji silinder

$$\begin{aligned}\text{a) Semen} &= 410 \times 120 \% \times 3 \times 0,005301 \\ &= 7,8249 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\text{b) Air} = 205 \times 120 \% \times 3 \times 0,005301$$

$$= 3,91246 \text{ kg}$$

$$\text{c) Agregat halus} = 731 \times 120 \% \times 3 \times 0,005301$$

$$= 13,9513 \text{ kg}$$

$$\text{d) Agregat kasar} = 1030 \times 120 \% \times 3 \times 0,005301$$

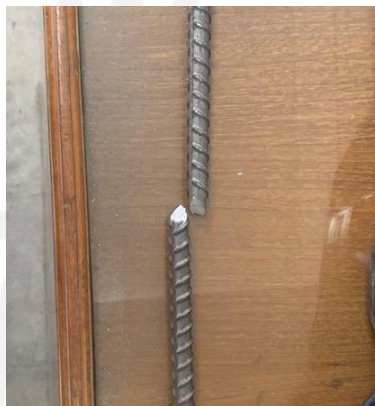
$$= 19,6577 \text{ kg}$$

5.5 Pengujian Baja

Pengujian baja tulangan dilakukan menggunakan mesin Hung-Ta: *Tensile Compression* guna mendapatkan nilai tegangan leleh (f_y) dari tulangan tersebut. Pada penelitian ini pengujian tarik dilakukan pada tulangan yang mengalami gaya tarik terbesar dari balok beton bertulang, dimana pada balok beton bertulang tulangan tersebut berada pada bagian bawah. Tulangan yang diuji ialah tulangan D13 normal dan tulangan D13 dengan sambungan *coupler* pada bagian tengah.

1. Pengujian Tarik Baja D13 normal

Pengujian Tarik baja Bertujuan untuk mendapatkan nilai beban leleh dan beban ultimit dari baja D13 tanpa sambungan (normal). Detail kerusakan benda uji tulangan normal D13 dapat dilihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Kerusakan Tulangan D13 Normal Terhadap Uji Tarik

Analisis pengujian Tarik baja D13 dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini:

a. Beban Leleh (P_y)

$$P_y = p_y \times 9,81$$

$$= 6000 \times 9,81$$

$$= 58860 \text{ N}$$

b. Beban Ultimit (Pu)

$$= 8350$$

$$= 81913,5 \text{ N}$$

c. Diameter Tulangan (d)

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

d. Luasan Baja (A)

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 12,7^2 \\ &= 126,6769 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

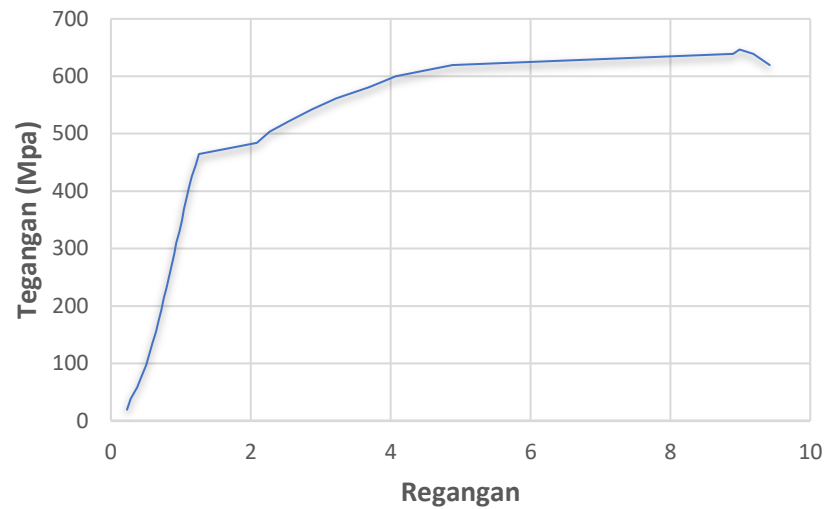
e. Tegangan Leleh (fy)

$$\begin{aligned} f_y &= \frac{py}{A} \\ &= \frac{58860}{126,6769} \\ &= 464,6467 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

f. Tegangan Ultimit (fu)

$$\begin{aligned} f_u &= \frac{pu}{A} \\ &= \frac{81913,5}{126,6769} \\ &= 646,6334 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Pada proses perencanaan awal tulangan yang digunakan merupakan tulangan SNI D13, namun setelah diukur ulang sebelum dilakukannya pengujian tarik diameter tulangan sebesar 12,7 mm. berdasarkan hasil pengujian dan analisis data didapatkan nilai tegangan leleh (fy) sebesar 464,6467 Mpa dan nilai tegangan ultimit (fu) sebesar 646,6334 Mpa. Dari hasil analisis data di atas didapatkan grafik antara tegangan dan regangan pada tulangan D13 Normal seperti pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Grafik Hubungan Tegangan Vs Regangan Baja D13 Normal

2. Pengujian Tarik Baja D13 Sambungan *Coupler*

Pengujian Tarik baja Bertujuan untuk mendapatkan nilai beban leleh dan beban ultimit dari baja D13 Sambungan *Coupler*. Detail benda uji D13 Sambungan *Coupler* dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Benda Uji D13 Sambungan *Coupler*

Kerusakan yang diakibatkan pengujian tarik pada tulangan D13 dengan sambungan *coupler* adalah terjadinya patahan pada tulangan yang sudah

dibubut. Hal itu dapat terjadi karena tulangan yang mengalami proses bubut menghasilkan dimensi yang lebih kecil dari dimensi awal, dimana dimensi awal tulangan sebesar 12,7 mm setelah dibubut menjadi 10,11 mm. Untuk detail kerusakan tulangan dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Kerusakan Tulangan D13 Sambungan Coupler Terhadap Uji Tarik

Analisis pengujian Tarik baja D13 dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini:

a. Beban Leleh (P_y)

$$\begin{aligned} P_y &= p_y \times 9,81 \\ &= 4400 \times 9,81 \\ &= 43164 \text{ N} \end{aligned}$$

b. Beban Ultimit (P_u)

$$\begin{aligned} P_u &= p_u \times 9,81 \\ &= 5200 \times 9,81 \\ &= 51012 \text{ N} \end{aligned}$$

c. Diameter Tulangan (d)

$$\text{Diameter} = 10,8 \text{ mm}$$

d. Luasan Baja (A)

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

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 10,8^2$$

$$= 91,6088 \text{ mm}^2$$

e. Tegangan Leleh (f_y)

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

$$= \frac{43164}{91,6088}$$

$$= 471,1772 \text{ Mpa}$$

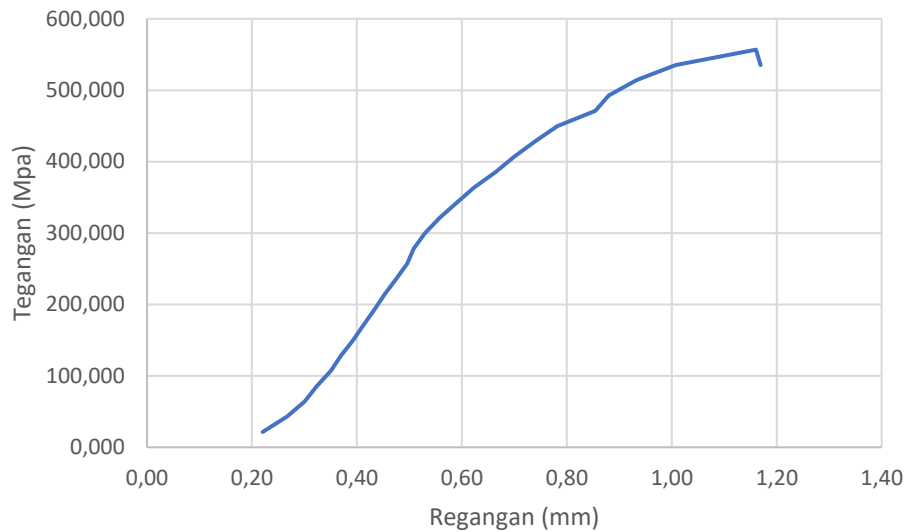
f. Tegangan Ultimit (f_u)

$$f_u = \frac{p_u}{A}$$

$$= \frac{51012}{91,6088}$$

$$= 556,8458 \text{ Mpa}$$

Pada proses perencanaan awal tulangan yang digunakan merupakan tulangan SNI D13, setelah diukur ulang sebelum dilakukannya pengujian tarik diameter tulangan sebesar 12,7 mm namun ada tulangan pada bagian *coupler* yang dibubut sehingga menjadi 10,8 mm. berdasarkan hasil pengujian dan analisis data didapatkan nilai tegangan leleh (f_y) sebesar 471,1772 Mpa dan nilai tegangan ultimit (f_u) sebesar 556,8458 Mpa. Dengan hasil analisis data di atas didapatkan grafik antara tegangan dan regangan pada tulangan D13 dengan sambungan *coupler* seperti pada Grafik 5.11.



Gambar 5.11 Grafik Hubungan Tegangan Vs Regangan Baja D13 Coupler

Setelah dilakukan pengujian tarik tulangan baja D13 normal dan tulangan D13 dengan sambungan *coupler*. Rekapitulasi hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pengujian Baja D13

Jenis Tulangan	Fy rencana	Fy (Mpa)	Fu (Mpa)
D13 Normal	420	464,6467	646,6334
D13 Coupler	420	471,1772	556,8458

Berdasarkan Tabel 5.11 Nilai yang didapat dari uji tarik tulangan D13 adalah fy sebesar 464,6467 Mpa dan fu 646,6334. Sedangkan pada uji tarik tulangan D13 *coupler* nilai fy sebesar 471,1772 Mpa dan fu sebesar 556,8458. Dari hasil yang sudah didapatkan dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai fu dan fy pada tulangan D13 *coupler* lebih besar dibandingkan dengan D13 normal.

Hasil yang didapat pada penelitian ini sama dengan penelitian yang dilakukan cho et al (2021) yaitu nilai fy pada pengujian tulangan D13 dengan sambungan *coupler* sebesar 651 Mpa lebih besar dari fy rencana sebesar 600 Mpa.

5.6 Sambungan Tulangan Pada Balok

5.6.1 Sambungan Lewatan

Sambungan lewatan (*Lap splice*) dapat dihitung panjang penyalurannya dengan berdasar pada SNI 2847:2019. Perhitungan panjang penyaluran dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

Diketahui:

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$f'_c = 25 \text{ Mpa}$$

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

$$\Psi_e = 1 \text{ (Tidak Menggunakan Epoksi)}$$

$$\Psi_t = 1 \text{ (Lainnya)}$$

$$\Psi_s = 0,8 \text{ (Tulangan Lebih Kecil Dari D19)}$$

$$d_b = 13$$

$$K_{tr} = 0$$

1. Berdasarkan pasal 25.4.2.2

$$\begin{aligned} \ell d &= \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \\ &= \left(\frac{420 \times 1 \times 1}{2,1 \times 1 \times \sqrt{25}} \right) \times 13 \\ &= 520 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Berdasarkan pasal 25.4.2.3

$$\begin{aligned} \ell d &= \left(\frac{f_y}{1,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b \\ &= \left(\frac{420}{1,1 \times 1 \times \sqrt{25}} \frac{1 \times 1 \times 0,8}{\left(\frac{54 + 0}{13} \right)} \right) \times 13 \end{aligned}$$

$$= 367,678 \text{ mm}$$

Dari perhitungan yang sudah dilakukan diperoleh hasil panjang penyaluran pada sambungan lewatan yaitu sepanjang 520 mm. Sedangkan, kenyataan di lapangan panjang sambungan lewatan yang terpasang sepanjang 430 mm, hal tersebut dapat terjadi dikarenakan *human eror* dari pihak perakitan tulangan.

5.6.2 Sambungan Mekanis (*Coupler*)

Sambungan mekanis *coupler* dipasang pada bagian tengah tulangan D13, dimana sambungan D13 merupakan sambungan tarik pada benda uji balok yang terletak di bagian bawah dari balok tersebut. Dalam penempatan sambungan *coupler* tidak ada perhitungan yang digunakan, namun langsung dilakukan pada bagian tengah dari bentang balok bertulang yang memiliki panjang 2 meter. Untuk *coupler* yang dibeli dari fabrikasi telah dilakukan pengujian tarik sehingga dapat diketahui nilai f_y dari *coupler* sebesar 530 Mpa dengan f_y rencana 500 Mpa.

5.7 Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan pada benda uji balok beton bertulang yang berumur 14 hari sebanyak 3 buah, dimana benda uji balok terdiri dari balok normal dan balok variasi. Sebelum dilakukan pengujian benda uji di-*setting* terlebih dahulu pada alat *hydraulic pump* dengan kapasitas 50 ton.

Perhitungan kuat lentur balok dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

1. Mn percobaan

$$Mn \text{ Percobaan} = \frac{1}{2} \times P \times \alpha + Md$$

Berdasarkan rumus di atas kuat lentur balok dipengaruhi oleh lengan gaya (a).

Pada perhitungan kuat lentur, langkah awal yang harus dihitung adalah berat sendiri balok (W). Berat sendiri balok didapatkan dari hasil perkalian antara massa

jenis balok dan volume balok (V). Penjabaran perhitungan berat sendiri balok dapat diamati sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W &= \gamma_c \times V \\ &= 24 \times (0,2 \times 0,3 \times 2) \\ &= 2,88 \text{ KN} \end{aligned}$$

Berat balok sendiri mengakibatkan terdapat gaya yang bekerja secara merata sepanjang balok (Q_{dl}). Perhitungan gaya berat merata balok (Q_{dl}) dapat diamati sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_{dl} &= W/L \\ &= 2,88/2 \\ &= 1,44 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan beban merata balok, selanjutnya momen akibat berat sendiri balok dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_w &= (1/8) \times Q_{dl} \times L^2 \\ &= (1/8) \times 1,44 \times 2^2 \\ &= 0,72 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan data yang sudah dianalisa di atas, kuat lentur balok 1 dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_n \text{ Percobaan} &= (1/2) \times P \times a + M_w \\ &= (1/2) \times 132,5 \times 1 + 0,72 \\ &= 47,305 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis perhitungan di atas, didapatkan rekapitulasi Hasil Perhitungan M_n percobaan pada setiap balok uji seperti yang tertera pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Mn Percobaan

Jenis Balok	Pmaks (KN)	Lengan Beban (m)	M _w (kNm)	Mn Percobaan (kNm)
Balok normal	132,5	0,7	0,72	47,305
Balok lewatan	138,852	0,7	0,72	49,528
Balok <i>coupler</i>	96,2	0,7	0,72	34,6

Berdasarkan Tabel 5.12 didapatkan hasil pengujian kuat lentur balok dengan sambungan lewatan memiliki kuat lentur sebesar 49,528 kNm, sedangkan nilai kuat lentur untuk balok normal dan balok dengan sambungan coupler sebesar 47,305 kNm dan 34,39 kNm.

Setelah diperoleh hasil kuat lentur dari benda uji balok beton bertulang, dapat disimpulkan bahwa benda uji yang memiliki nilai kuat lentur tertinggi ialah balok dengan sambungan lewatan, sedangkan nilai kuat lentur terendah dimiliki oleh balok dengan sambungan *coupler*.

2. Mn Teoritis

$$\begin{aligned} ds &= sb + (0,5 \times \phi_s) \\ &= 40 + (0,5 \times 8) \end{aligned}$$

$$= 54,35 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= h - ds \\ &= 300 - 54,35 \\ &= 245,65 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \times f_y \\ &= (2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 12,7^2) \times 420 \\ &= 106408,6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= T_s / (0,85 \times f'_c \times b) \\ &= 106408,6 / (0,85 \times 33,3138 \times 200) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 18,78898 \\
 M_n &= T_s \times (d - a/2) \\
 &= 106408,6 \times (245,65 - 20,7027/2) \\
 &= 25,13961 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis perhitungan di atas, didapatkan rekapitulasi Hasil Perhitungan M_n teoritis pada setiap balok uji seperti yang tertera pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Perhitungan M_n Teoritis

Kode balok	F'c (Mpa)	Ts (N)	A	Mn teoritis (kNm)
Balok normal	33,3138	106408,571	18,7889	25,1396
Balok lewatan	25,9897	106408.6	24,0838	24,8579
Balok <i>coupler</i>	32,6689	106408.6	19,1599	25,1199

Berdasarkan Tabel 5.13 didapatkan perhitungan M_n teoritis pada balok *coupler* memiliki nilai M_n sebesar 25,0897, dimana nilai M_n *coupler* memiliki nilai tertinggi dibandingkan M_n balok normal dan lewatan.

Setelah dilakukan perhitungan M_n percobaan dan M_n teoritis didapatkan rekapitulasi perbandingan antara hasil M_n keduanya dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.14 Perbandingan M_n Percobaan dan M_n teoritis

Kode Balok	Mn percobaan Mpa	Mn teoritis Mpa	Selisih (%)
Balok normal	47,305	25,1396	46,8564
Balok lewatan	49,528	24,8579	49,8104
Balok <i>coupler</i>	34,6	25,1199	27,3991

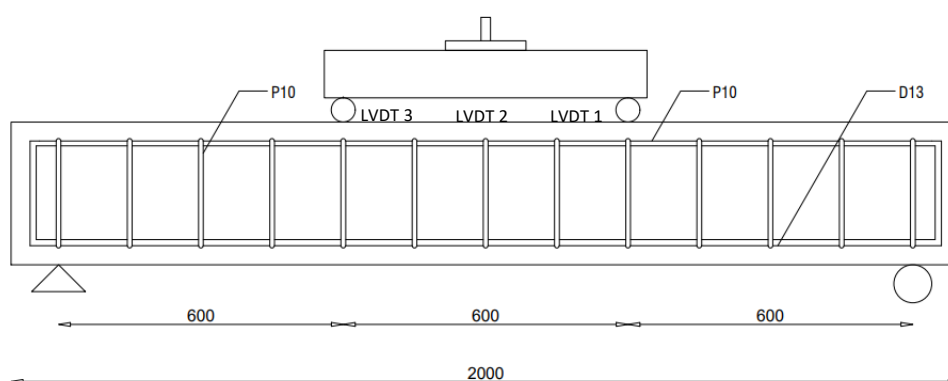
Berdasarkan Tabel 5.13 dapat dilihat bahwa nilai M_n percobaan pada balok normal, balok sambungan lewatan, dan balok sambungan *coupler* memiliki nilai

yang lebih besar dibandingkan M_n teoritis. Persen selisih antara nilai M_n percobaan dan M_n teoritis masing-masing balok sebesar 46,8564%, 49,8104%, 27,3991%. Nilai momen nominal yang telah dianalisis sesuai dengan SNI 2847:2019 lebih kecil dibandingkan dengan momen nominal percobaan. Pada penelitian ini memiliki persamaan hasil dengan penelitian yang dilakukan oleh Agustya dkk (2016), pada penelitian tersebut didapatkan hasil nilai momen percobaan memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan nilai momen teoritis yang telah dihitung sesuai SNI 2847-2013 dengan nilai berturut-turut sebesar 3,954 kNm dan 4,050 kNm. Persen selisih antara nilai M_n percobaan dan M_n teoritis balok sebesar 2,3704 %.

Berdasarkan tabel yang sama, untuk Persen selisih antara nilai M_n percobaan lewatan dan *coupler* terhadap balok normal secara berturut-turut sebesar 4,48837 % lebih besar dan 26,8593% lebih kecil.

5.8 Respon Beban dan Perpindahan

Dalam pengujian benda uji balok bertulang dipasang tiga buah LVDT, dimana LVDT ini berfungsi untuk mengetahui berapa besar penurunan yang terjadi ketika benda uji menerima beban tekan. Untuk melihat detail pemasangan LVDT pada setiap balok dapat dilihat pada Gambar 5.12.

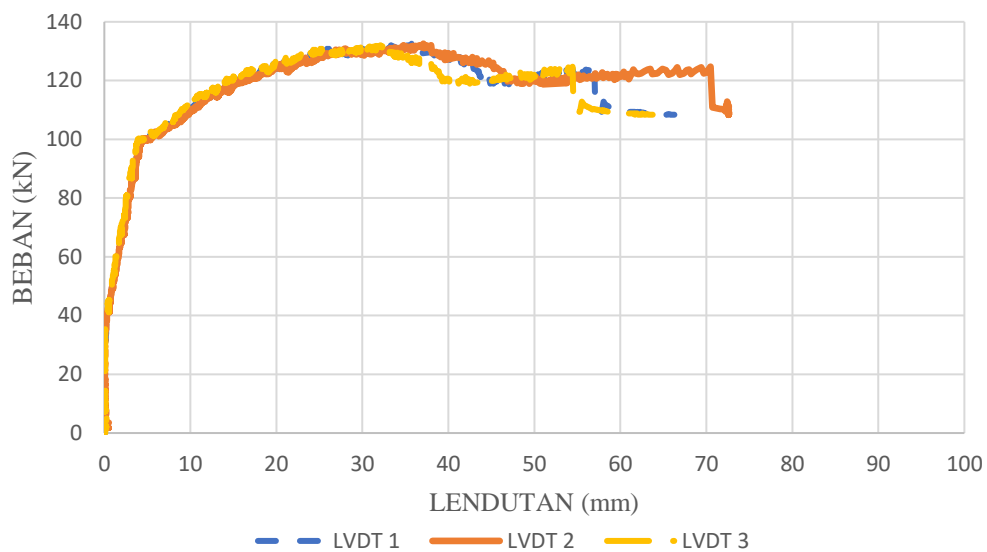


Gambar 5.12 Detail Pemasangan LVDT Pada Benda Uji

Hasil respon beban dan perpindahan pada masing-masing benda uji adalah sebagai berikut:

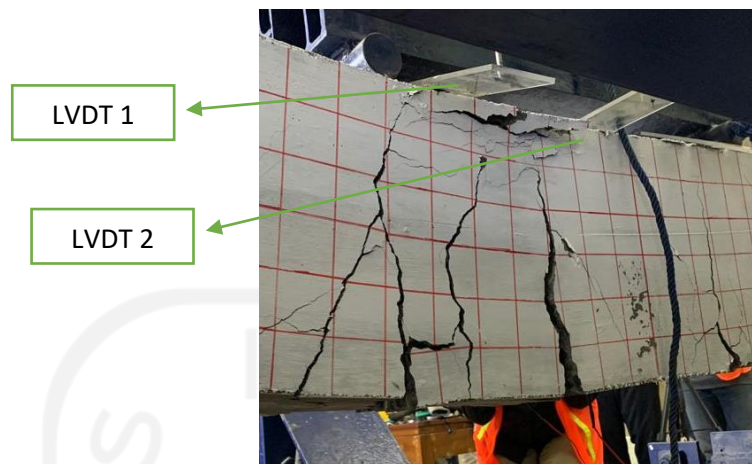
1. Balok normal

Pada balok dengan sambungan normal 1 didapatkan kuat tekan maksimum yang diterima benda uji sebesar 132,55 KN dengan perpindahan maksimum mencapai 72,6 mm. Perpindahan maksimum dialami oleh LVDT 2, selanjutnya terdapat LVDT 1 dan LVDT 3 dengan nilai perpindahan sebesar 66,284 mm dan 65,76 mm.



Gambar 5.13 Grafik Beban VS Lendutan Balok Normal

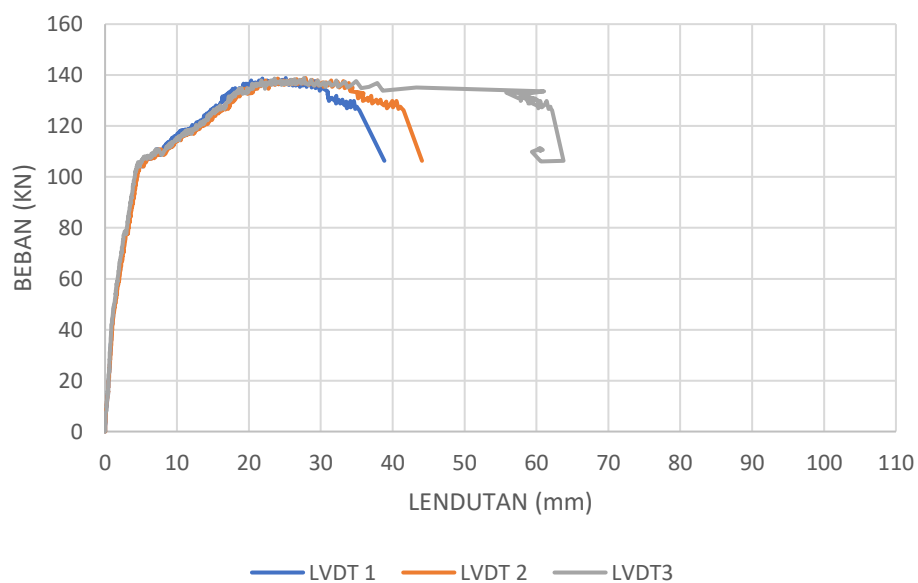
Berdasarkan Gambar 5.13 didapatkan juga hasil kerusakan yang terjadi pada daerah LVDT 2 tidak lebih parah dari LVDT 1 namun lebih parah dari LVDT 3. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa di daerah sekitar LVDT 1 mengalami kerusakan yang paling parah ditandai dengan nilai lendutan yang paling besar. Untuk detail kerusakan benda uji balok normal dapat dilihat pada Gambar 5.14.



Gambar 5.14 Kerusakan Benda Uji Balok Normal 1

2. Balok Sambungan Lewatan

Pada balok dengan sambungan lewatan didapatkan kuat tekan maksimum yang diterima benda uji sebesar 138,85 KN dengan perpindahan maksimum mencapai 63,764 mm. Perpindahan maksimum dialami oleh LVDT 3, selanjutnya terdapat LVDT 2 dan LVDT 1 dengan nilai perpindahan sebesar 44,076 mm dan 38,844 mm. Untuk melihat hubungan antara respon beban dengan perpindahan secara detail dapat dilihat pada Grafik 5.15.



Gambar 5.15 Grafik Beban VS Lendutan Balok Sambungan Lewatan

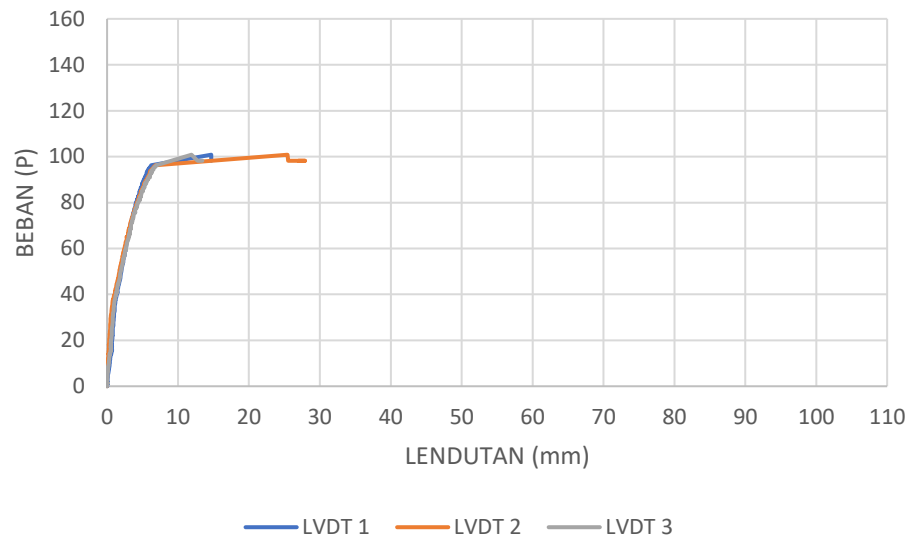
Berdasarkan Gambar 5.19 didapatkan hasil kerusakan yang terjadi pada daerah LVDT 2 tidak lebih parah dari LVDT 3 namun lebih parah dari LVDT 1. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa di daerah sekitar LVDT 3 mengalami kerusakan yang paling parah ditandai dengan nilai lendutan yang paling besar. Hasil lendutan yang didapat sudah sesuai dengan kerusakan benda uji jika dilihat secara visual. Untuk detail kerusakan benda uji balok normal dapat dilihat pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Kerusakan Benda Uji Balok Sambungan Lewatan

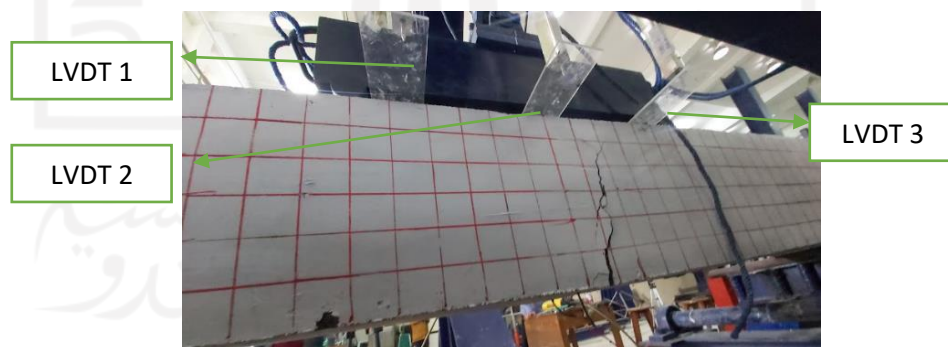
3. Balok Sambungan *Coupler*

Pada balok Pada balok dengan sambungan *coupler* 2 didapatkan kuat tekan maksimum yang diterima benda uji sebesar 100,836 KN dengan perpindahan maksimum mencapai 27,898 mm. Perpindahan maksimum dialami oleh LVDT 3, selanjutnya terdapat LVDT 2 dan LVDT 1 dengan nilai perpindahan sebesar 14,689 mm dan 13,435 mm. Untuk melihat hubungan antara respon beban dengan perpindahan secara detail dapat dilihat pada Grafik 5.17.



Gambar 5.17 Grafik Beban VS Lendutan Balok Sambungan *Coupler*

Berdasarkan Gambar 5.22 didapatkan juga hasil kerusakan yang terjadi pada daerah LVDT 1 tidak lebih parah dari LVDT 2 namun lebih parah dari LVDT 3. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa di daerah sekitar LVDT 2 mengalami kerusakan yang paling parah ditandai dengan nilai lendutan yang paling besar. Untuk detail kerusakan benda uji balok normal dapat dilihat pada Gambar 5.18.



Gambar 5.18 Kerusakan Benda Uji Balok Sambungan *Coupler* 2

Rekapitulasi hasil respon beban dan perpindahan pada masing-masing benda uji adalah sebagai berikut:

Tabel 5.15 Rekapitulasi Besar Lendutan Pada Masing-Masing Balok

Kode balok	LVDT 1 (mm)	LVDT 2 (mm)	LVDT 3 (mm)	Rata-rata LVDT	P MAKS (kN)
Normal	66,284	72,6	65,76	67,548	132,55
Lewatan	38,844	44,076	63,764	48,8947	138,85
<i>Coupler</i>	16,748	19,071	14,885	16,901	100,836

Berdasarkan tabel 5.14 dapat ditarik kesimpulan bahwa pada sambungan lewatan memiliki kuat tekan terbesar sebesar 138,347 kN dibandingkan nilai kuat tekan pada balok normal dan balok sambungan coupler dengan nilai berturut-turut sebesar 132,55 kN dan 100,836kN. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini memiliki hasil yang sama pada penelitian yang dilakukan oleh Sulastri (2020). Pada penelitian tersebut didapatkan hasil nilai beban maksimum pada balok dengan sambungan lewatan lebih besar dibandingkan dengan balok tanpa sambungan dengan nilai berturut-turut sebesar 124,804 kN dan 115,46 kN.

Nilai lendutan pada sambungan *coupler* didapatkan nilai lendutan yang lebih kecil dibandingkan dengan lendutan tulangan lewatan, hasil tersebut berbanding terbalik dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh cho et al (2021). Didapatkan hasil pengujian menunjukkan nilai lendutan sambungan *coupler* lebih besar dibandingkan dengan nilai lendutan sambungan lewatan, nilai masing-masing adalah 70 mm dan 20 mm. Hal tersebut dapat terjadi karena pada pengujian yang dilakukan cho et al (2021) sambungan lewatan tidak dapat mendapatkan hasil yang maksimal, hal tersebut diyakini disebabkan karena tidak dipasangnya tulangan sengkang pada bagian lapangan. Untuk sambungan lewatan, diperlukan percobaan lebih lanjut dengan ditambahkan tulangan sengkang pada bagian lapangan. Penelitian ini melanjutkan penelitian cho et al (2021) dengan menambahkan tulangan sengkang pada bagian lapangan dan didapatkan hasil sambungan lewatan memiliki nilai lendutan yang lebih besar dibandingkan dengan sambungan mekanis *coupler*.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

1. Momen nominal yang didapatkan nilai momen percobaan lebih besar dibandingkan dengan momen teoritis. Nilai momen nominal percobaan yang didapat pada balok normal, balok lewatan, dan balok *coupler* secara berturut-turut sebesar 47,305 Mpa, 49,528 Mpa, dan 34,6 Mpa. Kemudian, untuk Nilai momen nominal teoritis pada masing-masing balok secara berturut-turut sebesar 25,1396 Mpa, 24,8579 Mpa, dan 25,1199 Mpa. Persen selisih antara nilai Mn percobaan dan Mn teoritis masing-masing balok sebesar 46,6084%, 49,3952%, 27,0436%. Sedangkan, persen selisih antara nilai Mn percobaan lewatan dan *coupler* terhadap beton normal secara berturut-turut sebesar 5,0097 % lebih besar dan 26,8142% lebih kecil. Berdasarkan nilai Mn yang didapat, balok dengan sambungan mekanis *coupler* belum dapat menggantikan sambungan lewatan. Sambungan lewatan memiliki nilai momen nominal yang lebih baik diantara balok lainnya.
2. Nilai lendutan yang didapatkan pada balok normal, balok lewatan, dan balok *coupler* secara berturut-turut sebesar 67,548 mm, 48,8947, 16,901. Nilai lendutan maksimum terdapat pada sambungan normal dengan nilai lendutan sebesar 67,548 mm. Sedangkan untuk beban maksimum terdapat pada balok lewatan sebesar 138,836 kN.

6.2 SARAN

Penelitian yang telah dilakukan masih jauh dari kata sempurna, sehingga didapatkan beberapa saran yang dapat dijadikan acuan dalam melakukan pengembangan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Memastikan kembali pengerjaan yang dilakukan di lapangan sesuai dengan hasil yang sudah diperhitungkan

2. Dapat melakukan pengujian dengan diameter tulangan dan *coupler* yang berbeda
3. Dapat melakukan pengujian dengan dimensi benda uji balok yang berbeda
4. Dapat melakukan pengujian dengan mengganti jenis tulangan ulir menjadi tulangan polos



DAFTAR PUSTAKA

- ACI 439.3R-91. Mechanical Connections of Reinforcing Bars. (Reapproved 1999) reported by ACI Committee 439. John F. McDermott, Chairman.
- 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
- Dipohusodo, Istimawan 1994 Struktur Beton Bertulang. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Jeong, J.-H., Kim, I.-T., Kim, T.-J., Lee, M.-J., & Ahn, J.-H. (2015). Mechanical Performance Evaluation of Rolling Thread Steel Rebar Connection with Taper type Coupler. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 19(2), 40-51.
doi:10.11112/jksmi.2015.19.2.040
- Ng, P. L., Guan, G. X., & Kwan, A. K. (2017). Role of reinforcement couplers in serviceability performance of concrete members. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* (pp. 1-8). IOP Publishing.
- Prayitno, S., Supardi, & Pudyastuti, K. A. (2016). 2.5 Pengaruh Panjang Sambungan Lewatan Tulangan Baja Polos Terhadap Kuat Lentur pada Balok Kantilever Beton Bertulang. *e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 925-931.

Teguh, M., & Mahlisani, N. (2015). Experimental Study on Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams with Variety Lap Splices of Reinforcing Steel Bars. *Applied Mechanics and Materials*, 845(1), 132-139.

Setiawan, A. 2008. Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD. Erlangga.

Jakarta.

SNI. 2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Standar Nasional Indonesia. SNI 03-2843-2000.

SNI-2847-2013. (2013). Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung.

Bandung: Badan Standardisasi Indonesia, 1-265.

Standar Nasional Indonesia 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung.

Sulastri (2020). Perbandingan Perilaku Balok Tanpa Sambungan Lewatan dan Balok Dengan Sambungan Lewatan. (81-87)

Sumajouw, M.D.J., Windah, Resky S., & Imbar, S.E.J. Pengujian Geser Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Sengkang Konvensional. *Jurnal Sipil Statik* vol.1 No.2 (65-69)

Yohanes (2015) Pengaruh Kuat Tekan Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang. *Jurnal Sipil Statik* Vol.3 No.5. ISSN: 2337-6732



LAMPIRAN 1

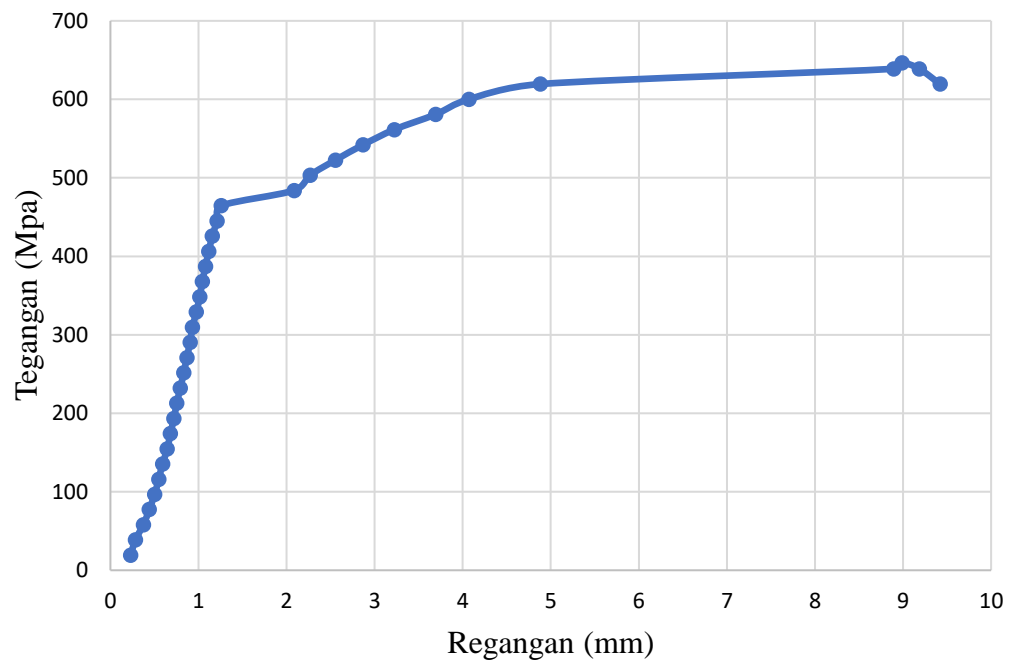
Hasil Pengujian Kuat Tarik

Tabel 1 Data Pembebanan Baja Tulangan D13

Beban		Ekstensiometer	Δ Sebenarnya	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ)	Skala gambar	
Kgf	N	(ΔL)10 ² mm	ΔL mm	(P/A) Mpa	($\Delta L/L_0$)	r	t
250	2452,5	0,15	0,00146	19,360	2,29999E-05	0,23	19,360
500	4905	0,18	0,0018	38,721	2,8356E-05	0,28	38,721
750	7357,5	0,24	0,00238	58,081	3,74929E-05	0,37	58,081
1000	9810	0,28	0,0028	77,441	4,41093E-05	0,44	77,441
1250	12262,5	0,32	0,00319	96,801	5,02531E-05	0,50	96,801
1500	14715	0,35	0,00348	116,162	5,48216E-05	0,55	116,162
1750	17167,5	0,38	0,00376	135,522	5,92325E-05	0,59	135,522
2000	19620	0,41	0,0041	154,882	6,45886E-05	0,65	154,882
2250	22072,5	0,43	0,00433	174,243	6,82119E-05	0,68	174,243
2500	24525	0,46	0,00458	193,603	7,21502E-05	0,72	193,603
2750	26977,5	0,48	0,00479	212,963	7,54584E-05	0,75	212,963
3000	29430	0,50	0,00504	232,323	7,93968E-05	0,79	232,323
3250	31882,5	0,53	0,00529	251,684	8,33351E-05	0,83	251,684
3500	34335	0,55	0,00551	271,044	8,68008E-05	0,87	271,044
3750	36787,5	0,57	0,00574	290,404	9,04241E-05	0,90	290,404
4000	39240	0,59	0,00592	309,765	9,32597E-05	0,93	309,765
4250	41692,5	0,62	0,0062	329,125	9,76706E-05	0,98	329,125
4500	44145	0,64	0,00644	348,485	0,000101451	1,01	348,485
4750	46597,5	0,66	0,00663	367,845	0,000104445	1,04	367,845
5000	49050	0,69	0,00685	387,206	0,00010791	1,08	387,206
5250	51502,5	0,71	0,00709	406,566	0,000111691	1,12	406,566
5500	53955	0,74	0,00735	425,926	0,000115787	1,16	425,926
5750	56407,5	0,77	0,00769	445,287	0,000121143	1,21	445,287
6000	58860	0,80	0,008	464,647	0,000126027	1,26	464,647
6250	61312,5	1,33	0,01325	484,007	0,000208732	2,09	484,007
6500	63765	1,44	0,0144	503,367	0,000226848	2,27	503,367
6750	66217,5	1,62	0,01623	522,728	0,000255676	2,56	522,728
7000	68670	1,82	0,01821	542,088	0,000286868	2,87	542,088
7250	71122,5	2,05	0,02046	561,448	0,000322313	3,22	561,448
7500	73575	2,34	0,02344	580,808	0,000369258	3,69	580,808
7750	76027,5	2,59	0,02585	600,169	0,000407223	4,07	600,169
8000	78480	3,10	0,031	619,529	0,000488353	4,88	619,529
8250	80932,5	5,65	0,05647	638,889	0,00088959	8,90	638,889
8500	81913,5	5,71	0,05706	646,633	0,000898885	8,99	646,633
8750	80932,5	5,83	0,0583	638,889	0,000918419	9,18	638,889
9000	78480	5,98	0,0598	619,529	0,000942049	9,42	619,529

Tabel 2 Hasil Analisis Kuat Tarik Baja Tulangan D13

Uraian	Hasil	Satuan
Panjang total benda uji (Lt)	600	mm
Panjang pada bagian kecil (bidang uji)	116	mm
Panjang ukur awal benda uji (Lo)	63,47866222	mm
Diameter awal benda uji (do) (kecil)	12,7	mm
Diameter contoh asli (D) (besar)	15,9	mm
Luas penampang benda uji semula (Ao)	126,6768698	mm ²
Beban maksimum	8350	kgf
	81913,5	N
Kuat Tarik Maksimum (Pu)	646,6334394	Mpa
Kuat Tarik Leleh (Fy)	464,6467828	Mpa
Regangan Maksimum	-100%	%
Konsentrasi Penampang (S)	16%	%



Gambar 1 Kurva Tegangan Regangan Kuat Tarik Baja Tulangan D13



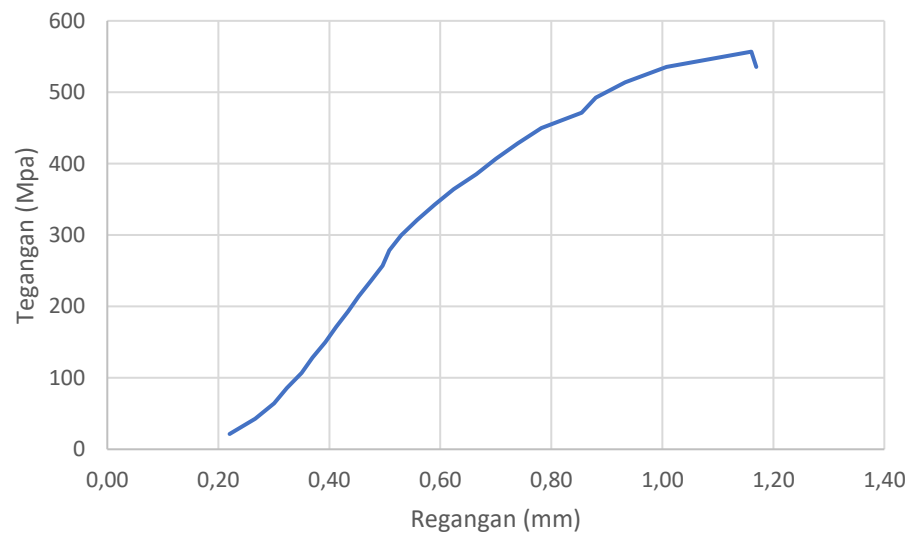
Gambar 2 Kerusakan Baja Tulangan D13 Setelah Pengujian Tarik

Tabel 1 Data Pembebanan Baja Tulangan D13 Coupler

Beban		Ekstensiometer	Δ Sebenarnya	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ)	Skala gambar	
Kgf	N	(ΔL) $\dots 10^{-2}$ mm	ΔL mm	(P/A) Mpa	($\Delta L/L_0$)	r	t
200	1962	1,21	0,01212	21,417	2,20364E-05	0,22	21,417
400	3924	1,47	0,01466	42,834	2,66545E-05	0,27	42,834
600	5886	1,65	0,01652	64,251	3,00364E-05	0,30	64,251
800	7848	1,78	0,01779	85,669	3,23455E-05	0,32	85,669
1000	9810	1,93	0,01926	107,086	3,50182E-05	0,35	107,086
1200	11772	2,03	0,02033	128,503	3,69636E-05	0,37	128,503
1400	13734	2,16	0,0216	149,920	3,92727E-05	0,39	149,920
1600	15696	2,27	0,02268	171,337	4,12364E-05	0,41	171,337
1800	17658	2,39	0,02385	192,754	4,33636E-05	0,43	192,754
2000	19620	2,49	0,0249	214,171	4,52727E-05	0,45	214,171
2200	21582	2,61	0,0261	235,589	4,74545E-05	0,47	235,589
2400	23544	2,73	0,02727	257,006	4,95818E-05	0,50	257,006
2600	25506	2,80	0,02795	278,423	5,08182E-05	0,51	278,423
2800	27468	2,91	0,02913	299,840	5,29636E-05	0,53	299,840
3000	29430	3,07	0,03069	321,257	0,0000558	0,56	321,257
3200	31392	3,25	0,03245	342,674	0,000059	0,59	342,674
3400	33354	3,43	0,03431	364,091	6,23818E-05	0,62	364,091
3600	35316	3,66	0,03656	385,509	6,64727E-05	0,66	385,509
3800	37278	3,85	0,03851	406,926	7,00182E-05	0,70	406,926
4000	39240	4,07	0,04066	428,343	7,39273E-05	0,74	428,343
4200	41202	4,30	0,04301	449,760	0,0000782	0,78	449,760
4400	43164	4,70	0,047	471,177	8,54545E-05	0,85	471,177
4600	45126	4,84	0,0484	492,594	0,000088	0,88	492,594
4800	47088	5,13	0,05131	514,012	9,32909E-05	0,93	514,012
5000	49050	5,54	0,05542	535,429	0,000100764	1,01	535,429
5200	51012	6,38	0,06383	556,846	0,000116055	1,16	556,846
5000	49050	6,43	0,06431	535,429	0,000116927	1,17	535,429

Tabel 2 Hasil Analisis Kuat Tarik Baja Tulangan D13 Coupler

Uraian	Hasil	Satuan
Panjang total benda uji (Lt)	600	mm
Panjang pada bagian kecil (bidang uji)	117	mm
Panjang ukur awal benda uji (Lo)	550	mm
Diameter awal benda uji (do) (kecil)	10,8	mm
Diameter contoh asli (D) (besar)	12,7	mm
Luas penampang benda uji semula (Ao)	91,60884178	mm ²
Beban maksimum	5200	kgf
	51012	N
Kuat Tarik Maksimum (Pu)	556,8458132	Mpa
Kuat Tarik Leleh (Fy)	471,1772266	Mpa
Regangan Maksimum	-100%	%
Konsentrasi Penampang (S)	-11%	%



Gambar 3 Kurva Tegangan Regangan Kuat Tarik Baja Tulangan D13 Coupler



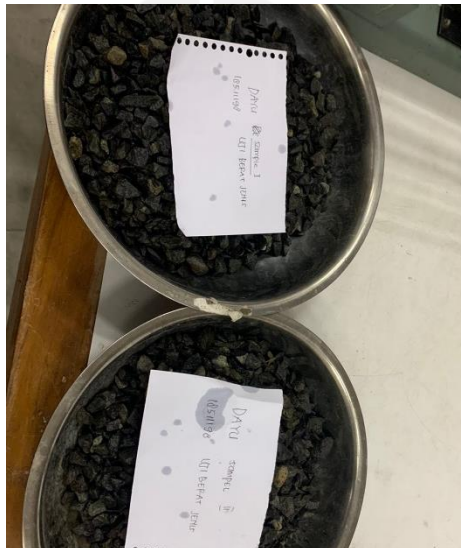
Gambar 4 Kerusakan Baja Tulangan D13 Setelah Pengujian Tarik



الجامعة الإسلامية
الاستدراكية



Gambar L-2.1 Pencucian agregat kasar



Gambar L-2.2 Agregat Yang Akan di Oven



Gambar L-2.3 Agregat Kasar dimasukkan ke oven



Gambar L-2.3 Agegrat Kasar Kering oven



Gambar L-2.4 Pembuatan Benda Uji Balok



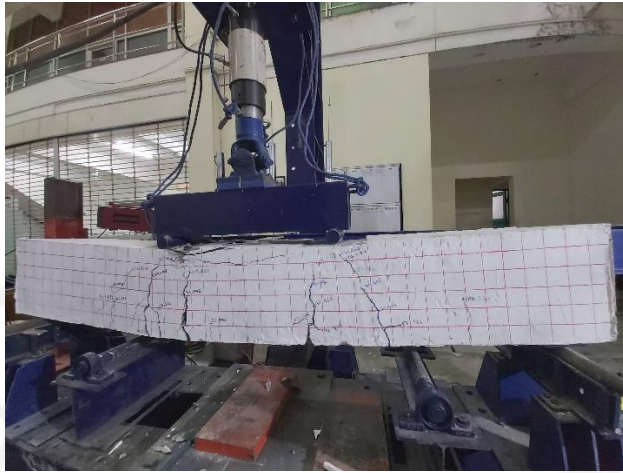
Gambar L-2.5 Proses *Curing* Menggunakan Karung Goni



Gambar L-2.6 Proses Pengcatan dan Garis Per 5 cm Pada Balok



Gambar L-2.7 Proses Pemindahan Benda Uji Balok

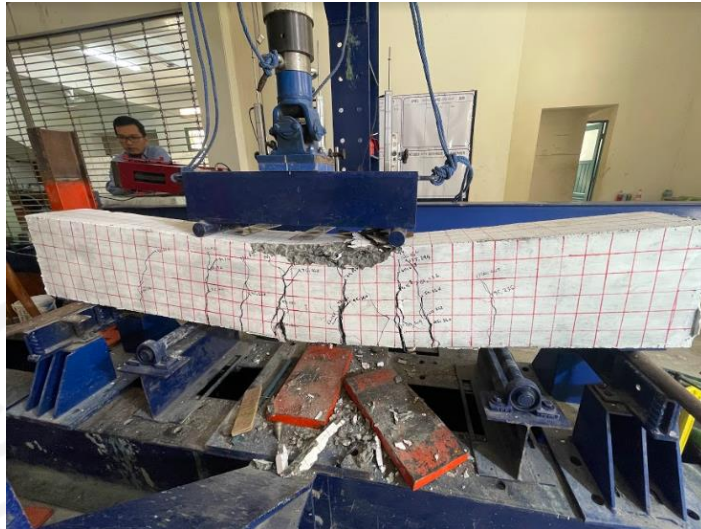


Gambar L-2.8 Kerusakan Benda Uji Balok Lewatan Setelah Uji Kuat Lentur



Gambar L-2.9 Kerusakan Benda Uji Balok *Coupler* Setelah Uji Kuat Lentur

المعهد الوطني للبحوث والدراسات
UNIVERSITAS



Gambar L-2.10 Kerusakan Benda Uji Balok Normal Setelah Uji Kuat Lentur

