TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN KINERJA LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN SAMBUNGAN LEWATAN DAN SAMBUNGAN MEKANIS (*CLAMP*) *(COMPARISON BENDING BEHAVIOUR REINFORCED CONCRETE BEAMS OF LAPSPLICE JOINTS AND MECHANICAL JOINTS (CLAMP)).*

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

M Firzaki Musyaffa

18511085

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

2022

TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN KINERJA LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN SAMBUNGAN LEWATAN DAN SAMBUNGAN MEKANIS (*CLAMP*)

(COMPARISON BENDING BEHAVIOUR REINFORCED CONCRETE BEAMS OF LAPSPLICE JOINTS AND MECHANICAL JOINTS (CLAMP)).

Disusun oleh:

M Firzaki Musyaffa
18511085

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

Diuji pada tanggal 27 September 2022
Oleh Dewan Penguji

Penguji I	Penguji II	Penguji III
Jafar, S.T., M.T., MURP.	**Ir. Helmy Akbar Bale, M.T.**	**Malik Musthofa, S.T., M.Eng.**
NIP: 185111305	**NIP: 885110105**	**NIP: 185111302**

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Eng. Yunalia Muntafi S.T., M.T.
NIP: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



M Firzaki Musyaffa

18511085

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrohmatullahi Wabarokaatuh

Segala puji bagi Allah Subhanahu Wata'ala Tuhan seluruh alam yang karena kehadirat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Perbandingan Performa Sambungan Lewatan Dan Sambungan Mekanis (Clamp) Terhadap Perilaku Lentur Beton*.

Tugas Akhir ini disusun dengan tujuan sebagai syarat untuk menyelesaikan Studi Program Strata 1 Teknik Sipil, Fakutas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Selama melaksanakan dan menyusun laporan, penyusun telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak sehingga dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Eng. Yunalia Muntafi S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil,
2. Jafar, S.T., M.T., MURP. selaku dosen pembimbing,
3. Ir. Helmy Akbar Bale, M.T. selaku dosen penguji I,
4. Malik Musthofa, S.T., M.T. selaku dosen penguji II,
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. Bapak Manap, S.P., dan Ibu Anna Dewiyanti selaku orang tua saya, serta M Rafi Khairul Iman dan Nayla Zalfa Fitriani selaku adik saya yang senantiasa mendukung penulis baik secara spiritual maupun finansial selama menjalani masa perkuliahan dengan semangat dan motivasi yang tak pernah putus.
7. Zaneta Ambarwati selaku partner saya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini yang senantiasa membantu dan bekerja sama dengan baik demi kelancaran penelitian yang dilakukan.
8. Wiku A. Sugianto, Hardian Wibisono, Azizan Dian Syafaat, Rheno Renaldy, Ilham Aji S., Ronggo Panuntun, Taufiq M Iqbal A., Afif Kemal Muzzaki,

Abhinaya Fikri F., Fahmi Kunsetya L., selaku sobat KRP yang senantiasa mendukung penulis.

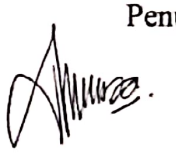
9. Aghni Isna Nurilmi selaku pendamping dan *support system* yang turut mewarnai proses pengerjaan Tugas Akhir,
10. Serta semua teman-teman penulis yang telah memiliki andil dalam proses penelitian yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Akhir kata semoga laporan ini dapat bernanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Wassalamu'alaikum Warrohmatullahi Wabarokaatuh

Yogyakarta, Agustus 2022

Penulis,



M Firzaki Musyaffa

18511085

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR ix
ABSTRAK xi
ABSTRACT xii
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penulisan 3
1.4 Manfaat 3
1.5 Batasan Masalah 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Pendahuluan 5
2.2 Penelitian Terdahulu 5
2.3 Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya 7
BAB III LANDASAN TEORI 12
3.1 Beton Bertulang 12
3.1.1 Beton 13
3.1.2 Baja Tulangan 17
3.2 Sambungan Tulangan 18
3.2.1 Sambungan Tulangan Lewatan 19
3.2.2 Sambungan Mekanis *Clamp.* 22
3.3 Mix Design 25
3.3.1 Damdex (Bahan Tambah) 31

3.4 Kuat Lentur Beton 31
3.5 Keruntuhan Balok 33
3.5.1 Jenis Keruntuhan 33
3.5.2 Pola Retak Balok 34
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 37
4.1 Umum 37
4.2 Variabel Penelitian 37
4.3 Teknik Pengumpulan Data 38
4.4 Bahan-Bahan yang Digunakan 38
4.5 Peralatan Penelitian 38
4.6 Pelaksanaan Penelitian 39
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 46
5.1 Uji Material 46
5.1.1 Agregat Halus Pasir Progo 46
5.1.2 Uji Agregat Kasar 50
5.1.3 Uji Baja Tulangan 53
5.2 Analisis Proporsi Campuran Beton 57
5.3 Analisis Data *Mix Design* 62
5.4 Sambungan Tulangan Pada Balok 63
5.4.1 Sambungan Lewatan 63
5.5 Analisis Tulangan Rangkap 65
5.6 Pengujian Kuat Lentur Balok 67
5.6.1 Mekanisme Pembebanan 67
5.6.2 Analisis Hasil Pengujian Kuat Lentur 68
5.7 Respon Balok Beton Terhadap Beban dan Lendutan 71
5.8 Pola Retak Balok 74
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 79
6.1 Kesimpulan 79
6.2 Saran 79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rincian Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu 8
Tabel 3.1 Panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi Tarik. 20
Tabel 3.2 Faktor Modifikasi Panjang Penyaluran Tulangan Ulir 21
Tabel 3.3 Faktor Pengali Deviasi Standar.....26
Tabel 3.4 Perkiraan Kekuatan Tekan Beton 27
Tabel 3.5 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) 28
Tabel 3.6 Persyaratan Minimum Kadar Semen dan Nilai FAS Maks 29
Tabel 5.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus 46
Tabel 5.2 Uji Modulus Halus Butir Agregat Halus 47
Tabel 5.3 Uji Kandungan Lumpur Agregat Halus.....48
Tabel 5.4 Uji Berat Isi Gembur Agregat Halus 49
Tabel 5.5 Uji Berat Isi Padat Agregat Halus.....49
Tabel 5.6 Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar 50
Tabel 5.7 Uji Modulus Halus Butir.....51
Tabel 5.8 Uji Berat Isi Gembur Agregat Kasar 52
Tabel 5.9 Uji Berat Isi Padat Agregat Kasar.....52
Tabel 5.10 Pengujian *Mix Design* 63
Tabel 5.11 Rekapitulasi Analisis Tulangan Rangkap 67
Tabel 5.12 Rekapitulasi Perhitungan Mn Percobaan 69
Tabel 5.13 Rasio Perbandingan Mn Percobaan & Mn Teoritis 70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Regangan Tegangan Balok Tulangan Tunggal 12
Gambar 3.2 Diagram Regangan Tegangan Balok Tulangan Rangkap 13
Gambar 3.3 Hubungan Tegangan dan Regangan Tekan Beton 15
Gambar 3.4 Hubungan Tegangan dan Regangan Tarik Beton 16
Gambar 3.5 Hubungan Tegangan (f) vs Regangan (ε) Baja 17
Gambar 3.6 Lanjutan Hubungan Tegangan (f) vs Regangan (ε) Baja 18
Gambar 3.7 *Solid-Type Steel Coupling Sleeve*.....23
Gambar 3.8 *Strap-Type Steel Coupling Sleeve* 23
Gambar 3.9 *Steel-Filled Coupling Sleeve* 23
Gambar 3.10 *Wedge-Locking Coupling Sleeve* 23
Gambar 3.11 *Steel Coupling Sleeve with Wedge* 24
Gambar 3.12 *Bar Splice Double Barrel*.....24
Gambar 3.13 *Cold-Swaged Steel Coupling Sleeve* 25
Gambar 3.14 *Taper-Threaded Steel Coupler*.....25
Gambar 3.15 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Faktor Air Semen.....27
Gambar 3.16 Grafik Persentase Agregat Halus 30
Gambar 3.17 Grafik Berat Isi Beton 30
Gambar 3.18 Diagram Regangan Tegangan Balok Tulangan Tunggal 32
Gambar 3.19 Pola Retak Lentur Balok 34
Gambar 3.20 Pola Retak Geser 35
Gambar 3.21 Retak Geser Lentur 35
Gambar 3.22 Retak Puntir.....36

Gambar 3.23 Retak Lekatan.....36
Gambar 4.3 Sambungan Mekanis *Clamp* 40
Gambar 4.4 Tampak Melintang dan Memanjang Balok Normal 41
Gambar 4.5 Tampak Melintang dan Memanjang Balok Lewatan 41
Gambar 4.6 Tampak Melintang dan Memanjang Balok *Clamp* 42
Gambar 4.7 Flowchart Penelitian.....45
Gambar 5.3 Kurva Gradasi Agregat Halus 48
Gambar 5.4 Grafik Analisis Saringan Agregat Kasar.....51
Gambar 5.5 Kurva Tegangan Regangan Baja D13.....53
Gambar 5.6 Kurva Tegangan Regangan Baja D13 Sambungan Tulangan.....54
Gambar 5.7 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan FAS 58
Gambar 5.8 Grafik Presentase Agregat Halus 59
Gambar 5.9 Grafik Berat Isi Beton 60
Gambar 5.10 Uji Mix Design Silinder Beton 62
Gambar 5.11 Pembebanan Benda Uji Balok 68
Gambar 5.12 Detail Pembebanan Benda Uji Balok.....68
Gambar 5.13 Beban vs Lendutan Balok Normal 71
Gambar 5.14 Beban vs Lendutan Balok Clamp.....71
Gambar 5.15 Beban vs Lendutan Balok Lewatan 72
Gambar 5.16 Perbandingan Beban vs Lendutan Setiap Balok 73
Gambar 5.17 Kondisi Balok Normal 1 Setelah Pengujian 75
Gambar 5.18 Kondisi Balok Clamp 1 Setelah Pengujian.....76
Gambar 5.19 Kondisi Balok Lewatan 1 Setelah Pengujian.....77
Gambar 5.20 Kondisi Balok Lewatan 1 Setelah Pengujian.....78

ABSTRAK

Balok beton bertulang dalam praktiknya di lapangan sering memerlukan panjang mencapai 20 m, sedangkan pada umumnya panjang baja di pasaran berkisar 12 m. Penyambungan tulangan diperlukan guna memenuhi kebutuhan dan dapat dilakukan dengan cara pengelasan, penggunaan alat sambung mekanis, maupun yang umum digunakan dengan cara sambungan lewatan. Melihat peluang sambungan mekanis untuk menggantikan konsistensi sambungan lewatan, penulis tertarik untuk membandingkan performa sambungan tulangan lewatan dengan sambungan mekanis jenis clamp terhadap kinerja lentur balok beton bertulang.

Perhitungan panjang penyaluran menggunakan pedoman SNI 2847-2019 terbaru, serta desain sambungan mekanis jenis clamp melalui penelitian terdahulu menjadikan penelitian ini referensi baru dalam dunia konstruksi di Indonesia. Penelitian ini meninjau kinerja lentur balok seperti respon beban-lendutan dan pola retak melalui pengujian kuat lentur dengan pembebanan dua titik. Benda uji yang digunakan memiliki dimensi 200×300×2000 mm dengan mutu beton rencana 25 Mpa. Benda uji memiliki 2 variasi sambungan tulangan terdiri dari sambungan lewatan (*lap splice*) dan sambungan mekanis jenis clamp serta 1 balok normal sebagai acuan.

Penelitian ini menghasilkan nilai kuat lentur balok normal sebesar 40,47 kNm, balok clamp dengan rata-rata 41,16 kNm, serta nilai kuat lentur tertinggi berhasil dicapai oleh balok dengan sambungan tulangan lewatan dengan nilai 42,06 kNm. Berdasarkan nilai kuat lenturnya, balok dengan sambungan clamp belum bisa menggantikan balok dengan sambungan lewatan.

Kata kunci: Balok beton bertulang, kuat lentur, sambungan lewatan, *clamp.*

ABSTRACT

Reinforced concrete beams in practice in the construction often require a length of up to 20 m, whereas in general the length of steel on the market is around 12 m. The connection of reinforcement is needed to meet the needs and can be done by welding, the use of mechanical splicing tools, or commonly used by lapsplice. Seeing the opportunity for mechanical joints to replace the consistency of overpassed joints, the authors are interested in comparing the performance of lapsplice joints and clamp-type mechanical connections on the flexural performance of reinforced concrete beams.

The calculation of the distribution length using the latest SNI 2847-2019 guidelines, as well as the design of the clamp type mechanical connection through previous research, makes this research a new reference in the world of construction in Indonesia. This study reviews the flexural performance of beams such as load-displacement response and crack patternsy through flexural strength testing with two-point loading. The test object has dimensions of 200×300×2000 mm with a concrete quality of 25 MPa. The test object has 2 variations of reinforcing joints consisting of lap splice and clamp type mechanical connections and 1 normal beam as a reference.

This study resulted in a normal beam flexural strength value of 40,47 kNm, a clamp beam with an average of 41,16 kNm, and the highest flexural strength value was achieved by beams with overpass reinforcement with a value of 42,06 kNm. Based on the value of the flexural strength, beams with clamp connections cannot replace beams with overpass joints.

***Keywords**: Reinforced concrete beams, flexural strength, lapsplice joints, clamp.*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton bertulang adalah pilihan jenis struktur yang diminati di berbagai konstruksi bangunan di Indonesia. Dengan memperhatikan pertimbangan sesuai dengan kelebihan perilaku setiap elemen pembentuknya, tingginya nilai kuat tekan beton apabila disatukan sebagai komposit dengan baja tulangan yang memiliki nilai kuat tarik yang tinggi dapat bekerja dengan baik pada sebuah struktur. Dalam perencanaannya, diperlukan perhitungan beban pada struktur secara akurat pada sebuah desain untuk mendapatkan persyaratan keamanan dan ekonomi yang baik (Mahlisani and Teguh, 2014)

Struktur beton bertulang seperti balok dan pelat merupakan bagian utama yang akan mengalami gaya tekan, gaya lentur dan gaya geser. Balok memiliki fungsi penting dalam membantu menyalurkan beban yang diberikan oleh pelat ke kolom. Lalu timbul gaya tekan aksial dan gaya lentur pada kolom dan didistribusikan ke pondasi. Dalam struktur balok lentur seperti yang sudah dijelaskan di atas, kekuatannya dipengaruhi oleh kuat tekan beton, tegangan leleh tulangan, panjang balok, dan kekakuan balok. Selain itu, terdapat satu faktor yang tidak kalah penting yaitu daktilitas. Suatu bangunan perlu didesain memiliki daktilitas yang tinggi, maksudnya adalah mampu berdeformasi yang besar tanpa kerusakan struktur yang berarti. Terlebih pada perbaikan atau penambahan struktur pada bangunan yang sudah tua mengakibatkan bertambahnya beban yang ditahan, hal ini memerlukan perkuatan dan daktilitas yang tinggi.

Struktur beton bertulang pada tiap konstruksi memiliki ukuran yang bervariasi, misalnya panjang dan lebar balok yang tentunya tidak akan sama. Dalam praktiknya di lapangan sering diperlukan balok beton bertulang dengan panjang mencapai 20 m, sedangkan pada umumnya panjang baja di pasaran berkisar 12 m. Menurut permasalahan di atas maka penyambungan tulangan dalam konstruksi tidak dapat dihindari.

Dalam pelaksanaannya, panjang tulangan baja yang terbatas memerlukan sistem penyambungan baja tulangan. Penyambungan dapat dilakukan dengan cara pengelasan, penggunaan alat sambung mekanis, maupun yang umum digunakan dengan cara sambungan lewatan, yaitu dengan cara menumpangkan dan menyatukan bagian panjang tertentu ujung-ujung batang yang disambung kemudian diikat dengan menggunakan kawat baja (Dipohusodo, 1999). Sambungan berperan pada saat memindahkan gaya serta perantara disipasi energi antar elemen yang disambung, sehingga hal ini menjadikan sambungan menjadi salah satu unsur penting (Castro, 1992).

Menurut SNI 2847: 2019 pasal 10.7.5 menyatakan bahwa "sambungan mekanis, sambungan las tumpul *(butt-welded)*, dan sambungan tumpuan ujung diizinkan". Peletakkan sejauh h/4 dari tepi diafragma yang mengalami Tarik (pasal 12.5.2.3) harus dilakukan pada tulangan nonprategang dan sambungan mekanis yang menahan tarik akibat momen, dimana h merupakan tinggi diafragma yang diukur pada bidang diafragma di lokasi tersebut. Saat tinggi diafragma berubah menjadi sepanjang bentang, maka dibolehkan untuk meneruskan tulangan ke bagian diafragma yang jaraknya berdekatan namun tidak berada dalam batasan h/4. Menurut peraturan di atas, dapat dilakukan penelitian lanjutan untuk memperoleh inovasi baru jenis sambungan mekanis sehingga menghasilkan yang lebih kuat dan layak secara teknis serta mudah dalam produksi dan pemasangannya

Sambungan tulangan dengan jenis clamp jarang ditemukan di Indonesia, perlu penelitian lebih lanjut untuk mengetahui bagaimana performanya. Melihat peluang sambungan tulangan sistem mekanis jenis *clamp* untuk menggantikan sambungan lewatan (*lap slice*) cukup baik. Penulis ingin membandingkan performa antara sambungan mekanis jenis *clamp* dengan sambungan lewatan terhadap perilaku lentur balok bertulang.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian hibah Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dengan dosen pembimbing Jafar S.T., M.T. yang memberikan arahan selama penulis melakukan penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

Bersumber pada latar belakang masalah yang telah diuraikan sebelumnya maka penelitian ini akan berkaitan dengan:

1. Bagaimana perbandingan performa antara sambungan mekanis *clamp* dengan sambungan lewatan terhadap kuat lentur balok?
2. Bagaimanakah respon balok terhadap beban dan lendutan yang terjadi antara sambungan mekanis *clamp* dengan sambungan lewatan?

1.3 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan penelitian ini dilakukan adalah:

1. Mengembangkan *clamp* sebagai sambungan mekanis untuk digunakan dalam konstruksi serta mengetahui perilaku struktur beton bertulang yang menggunakan sambungan *clamp* dan sambungan lewatan.
2. Mengetahui bagaimana respon balok terhadap beban dan lendutan yang terjadi antara sambungan mekanis *clamp* dengan sambungan lewatan.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai referensi dan bahan masukan dalam terhadap dunia ketekniksipilan mengenai sambungan mekanis *clamp.*
2. Sebagai bahan pertimbangan dalam memilih sambungan tulangan untuk digunakan di lapangan.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat batasan yang telah ditentukan meliputi:

1. Baja tulangan yang disambung menggunakan mutu dan diameter yang sama pada tiap beton yaitu 2P10 untuk tulangan tekan dan 2D13 untuk tulangan tarik. Setiap balok menggunakan sengkang minimum P8 dan spasi 150 mm.
2. Sifat material beton bertulang dirancang sebesar 25 MPa untuk kuat tekan beton dan 420 MPa untuk tegangan leleh baja tulangan.
3. Pembuatan benda uji balok memiliki dimensi 200 x 300 x 2000 mm dengan 3 variasi tulangan, yaitu tulangan normal, tulangan dengan sambungan mekanis *clamp*, serta tulangan dengan sambungan lewatan.

4. Balok dalam penelitian ini menggunakan prinsip *simple beam*.
5. Pembuatan benda uji silinder memiliki dameter 150 mm dan tinggi 300 mm dengan jumlah 1 buah setiap satu benda uji balok.
6. Pengujian benda uji akan dilakukan pada umur beton 14 hari dengan menggunakan bahan tambah damdex sebanyak 2% dari berat semen.
7. Desain alat sambung mekanis (clamp) menggunakan desain dari penelitian Ginting (2014).
8. Bekisting balok menggunakan material multiplex dengan tebal 9mm.
9. Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
10. Semen yang digunakan merupakan semen tipe 1 dengan merk Tiga Roda.
11. Agregat halus dan kasar yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Progo.
12. Agregat kasar yang digunakan memiliki ukuran maksimum 20 mm.
13. Nilai *slump* yang diisyaratkan 60-180 mm.
14. Penelitian ini tidak meneliti mengenai pengaruh damdex terhadap campuran beton, namun hanya digunakan sebagai bahan tambah guna mempercepat pengerasan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Suatu penelitian memerlukan teori-teori berdasarkan jurnal atau penelitian sebelumnya dan memiliki persamaan terhadap penelitian penulis, tujuannya adalah membuka wawasan penulis dalam menyusun proposal. Dari tinjauan pustaka ini penulis berharap dapat membuka pandangan mengenai metode, maupun saran dari peneliti terdahulu yang bermanfaat untuk penelitian.

2.2 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian terdahulu sudah pernah ada yang membahas mengenai perilaku sambungan mekanis jenis *clamp*, namun sebagian besar dari penelitian terdahulu menggunakan metode pengujian yang berbeda. Untuk penjelasan lebih lanjut akan diuraikan dibawah ini:

1. Perilaku Sambungan Mekanis Jenis Clamping Terhadap Panjang Lewatan

   Penelitian Nugroho, (2012) bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik struktur beton bertulang dengan mengombinasikan sambungan *clamp* dengan sambungan lewatan, diantaranya kuat tarik baja tulangan dan kuat tekan beton. Penelitian ini penulis menggunakan baja tulangan dengan diameter D16 dan tegangan leleh baja tulangan 400 MPa.

   Dari pengujian ini mendapatkan kenaikan performa *clamp* yang setara dengan jumlahnya sebesar 100%, dengan jumlah *clamp* yang paling optimum menggunakan 2 buah *clamp* dan panjang minimum lewatan 11,41db. Namun terdapat konfigurasi yang hasil daktilitasnya lebih buruk dari balok tanpa sambungan, yaitu sambungan lewatan 6,34db dengan daktilitas yang hanya 22%. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa varian sambungan yang mendapatkan hasil optimum memiliki potensi yang besar untuk digunakan, namun diperlukan peninjauan ulang karena hasil daktilitasnya yang masih

kurang. Pada penelitian selanjutnya mutu dari bahan *clamp* perlu ditingkatkan serta menggunakan variasi *lap splice* paling baik.

2. Usulan *Clamp* Sebagai Sambungan Mekanis Tulangan Baja Tarik

   Penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya, Ginting, (2014) hanya mengujikan kuat tarik dan modulus elastisitas baja pada penelitiannya. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk membandingkan kuat tarik baja tulangan secara utuh dengan baja tulangan yang disambung menggunakan *clamp*. Diameter baja tulangan yang digunakan adalah D13, D16, dan D19 dengan tegangan leleh baja tulangan (fy= 400MPa). Variasi yang dipakai selain diameter adalah jumlah *clamp*, dimulai dari 1 hingga 4 pasang *clamp*.

   Dari penelitian ini didapatkan modulus elastisitas terbaik pada diameter baja tulangan D16 dan 4 pasang *clamp* dengan rata – rata 204.001,38 MPa, dengan kuat tarik mencapai 571,34 MPa. Dapat disimpulkan untuk baja tulangan D16 telah memenuhi syarat SNI. Saran dari penulis untuk penelitian selanjutnya yaitu memperbaiki bentuk *connector (clamp)* karena sangat menentukan hasil dari penelitian.

3. Inovasi Sambungan Mekanis Menggunakan *Clamp* Baja Untuk Tulangan Beton

   Sebuah jurnal yang digarap oleh Parmo & Tavio, (2015) fokus pada performa sambungan tulangan dengan melihat kemampuan berdeformasi atau daktilitas sambungan dan komponen tulangan bersama kekuatannya. Agar mengetahui performa sambungan tulangan perlu diadakan pengujian kuat tarik baja sesuai dengan aturan yang berlaku. Dengan dilakukannya pengujian ini diharapkan dapat membandingkan kinerja dan kekuatan sambungan tulangan yang menggunakan sambungan mekanis jenis *clamp* dengan tulangan menerus tanpa sambungan, serta memperoleh hasil yang lebih sesuai.

   Penelitian ini menjelaskan material yang digunakan secara spesifik, seperti bahan yang digunakan untuk membuat *clamp* ialah pelat baja dengan ketebalan 15 mm dan Fy ± 250 MPa. *Clamp* ini nantinya akan menjadi sambungan untuk baja tulangan D13 dan D16 dengan Fy ± 350 MPa. Selain itu, mur dan baut yang

digunakan untuk mengencangkan *clamp* telah memiliki mutu tinggi dan berstandar DIN/EN-ISO grade 8.8 size M10.

Dari penelitian ini didapat performa *clamp* D13 sebesar 69,125% untuk tegangan leleh, 58,98% tegangan tarik maksimum dan 58,98% beban maksimum dari target yang dituju. Sedangkan pada *clamp* D16 diperoleh hasil tegangan leleh mencapai 55,14%, tegangan tarik maksimum 55,98% dan beban maksimum 55,98%. Terdapat saran untuk penelitian tahap selanjutnya yaitu untuk sambungan mekanis jenis *clamp* pelu ditambahkan jumlahnya serta kualitasnya perlu ditingkatkan.

4. Kinerja Lentur Balok Beton Bertulang Terhadap Berbagai Sambungan

Penelitian ini menggunakan specimen balok beton bertulang dengan bentang 1800 mm. Dimensi balok tipikal adalah 150x300x2000 mm dengan sifat material 25 MPa untuk kuat tekan beton dan 240 MPa untuk tegangan leleh baja tulangan. Balok ini diperkuat dengan tiga tulangan tarik 12 mm dan dua tulangan tekan 8 mm dan spasi 150 mm.

Mahlisani & Teguh, (2014) memfokuskan pengujian pada pengaruh tiga variasi sambungan *lap slice* yang bekerja pada balok, yaitu tanpa sambungan, sambungan lewatan 40D dan sambungan las 50D. Dari pengujian ini didapatkan hasil kuat tekan rata-rata BU-1 41.28 MPa, BU-2 41.04 MPa, BU-3 34.79 MPa. Selain itu juga didapatkan nilai lendutan serta daktilitasnya. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa faktor utama yang mempengaruhi daktilitas balok adalah rasio tulangan, material, dan perlakuan sambungan. Daktilitas meningkat seiring dengan penurunan rasio tulangan, selain itu didapat pola retak dan keruntuhan balok dan pada semua benda uji telah memenuhi standar.

2.3 Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Adapun beberapa persamaan dan perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian yang penulis lakukan. Rincian mengenai penelitian terdahulu terdapat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Rincian Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul Penelitian	Parameter Yang Diteliti	Hasil Penelitian
1	Nugroho (2012)	Perilaku Sambungan Mekanis Jenis Clamping Terhadap Panjang Lewatan	Kuat tarik baja tulangan dan kuat tekan beton.	Didapatkan kenaikan kekuatan *clamp* signifikan sesuai jumlahnya 100% dengan jumlah *clamp* paling optimum 2 buah, dan kekuatan *lap slice* naik mengikuti panjangnya. Konfigurasi paling optimum yaitu 2 buah *clamp* dengan *lap slice* 11,41db.
2	Ginting (2014)	Usulan *Clamp* Sebagai Sambungan Mekanis Tulangan Baja Tarik	kuat tarik dan modulus elastisitas baja	Didapatkan modulus elastisitas terbaik pada diameter baja tulangan D16 dan 4 pasang *clamp* dengan rata – rata 204.001,38 MPa, dengan kuat tarik mencapai 571,34 MPa

3	Parmo, Tavio (2015)	Inovasi Sambungan Mekanis Menggunakan *Clamp* Baja Untuk Tulangan Beton	Performa sambungan tulangan dengan meninjau kemampuan berdeformasi (daktilitas) sambungan dan elemen tulangan serta kekuatannya	Didapat performa *clamp* D13 sebesar 69,125% untuk tegangan leleh, 58,98% tegangan tarik maksimum dan 58,98% beban maksimum dari target yang dituju. Sedangkan *clamp* D16 tegangan leleh mencapai 55,14%, tegangan tarik maksimum 55,98% dan beban maksimum 55,98%
4	Mahlisani, Teguh (2020)	Kinerja Lentur Balok Beton Bertulang Terhadap Berbagai Sambungan	Kinerja lentur dan daktilitas beton bertulang	Dari pengujian ini didapatkan hasil kuat tekan rata-rata BU-1 41.28 MPa, BU-2 41.04 MPa, BU-3 34.79 MPa. Dapat disimpulkan bahwa faktor utama yang mempengaruhi daktilitas balok adalah rasio tulangan, material, dan perlakuan sambungan.

2.4 Keaslian Penelitian

Pada penelitian ini terdapat perbedaan dari penelitian yang terdahulu, penelitian yang penulis lakukan adalah membandingkan perilaku lentur beton bertulang sambungan *clamp* dengan sambungan lewatan serta mengetahui bentuk pola retak yang pada balok. Sedangkan pada penelitian terdahulu seperti penelitian Ginting (2014) fokus kepada pengujian tarik baja tulangan menggunakan sambungan mekanis *clamp* dengan variasi jumlah *clamp* dan variasi panjang penyaluran lewatan.

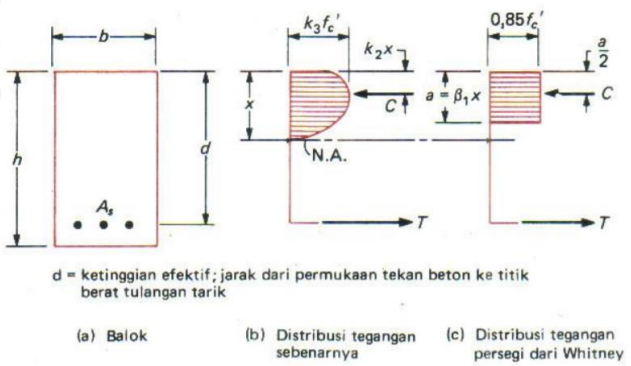
BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Beton Bertulang

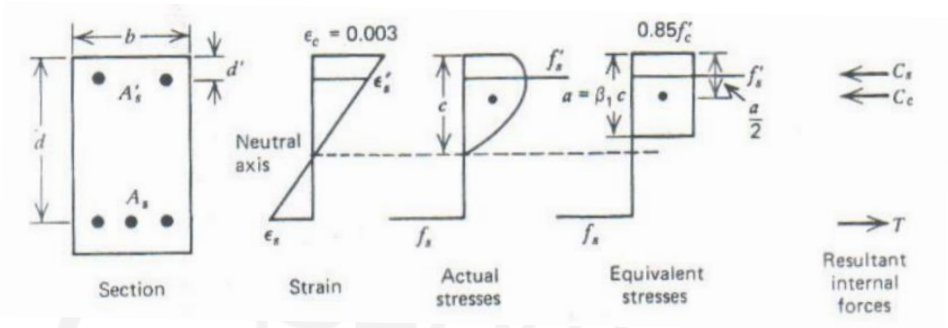
Beton mempunyai karakteristik yang tahan akan beban tekan, disisi lain beton memiliki kekurangan yaitu bersifat getas atau lemah terhadap beban tarik. Kuat tarik beton sering dihiraukan dalam perhitungan struktur, namun jika dipadukan dengan baja tulangan akan menghasilkan perpaduan yang baik. Baja tulangan memiliki sifat yang tahan akan beban tarik, namun karena biaya yang mahal membuat bahan ini jarang digunakan secara penuh dalam menahan beban tekan.

Dari perpaduan bahan tersebut, apabila disatukan secara akan menjadi bahan baru yaitu beton bertulang. Beton bertulang ini akan memiliki sifat seperti bahan penyusunnya, yaitu beton dengan sifat kuat tekannya yang sangat baik dan baja tulangan yang memiliki sifat sangat kuat terhadap beban tarik (Asroni, 2010).

Balok beton bertulang terbagi dalam 2 jenis, yaitu balok beton bertulang tunggal dan balok beton tulang rangkap. Balok beton dengan tulangan memanjang pada area tarik merupakan balok beton bertulang tunggal. Sedangkan, balok beton dengan tulangan yang terletak pada area tekan dan tarik disebut balok beton bertulang rangkap. Berikut merupakan diagram regangan tegangan antara balok beton tulangan tunggal dengan balok beton tulangan rangkap pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.



Gambar 3.1 Diagram Regangan Tegangan Balok Beton Tulangan Tunggal
(Sumber: http://martinisimatupang.lecture.ub.ac.id)



Gambar 3.2 Diagram Regangan Tegangan Balok Beton Tulangan Rangkap
(Sumber: http://martinisimatupang.lecture.ub.ac.id)

Berdasarkan gambar di atas, perhitungan Mn tiap balok dapat dicari menggunakan persamaan 3.6 dibawah ini. Berikut adalah perhitungan nilai Mn balok beton tulangan tunggal.

$$C_c = 0{,}85 \times f_c' \times a \times b \quad (3.1)$$

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

$$M_n = C_c \times (d - a/2) \quad (3.3)$$

$$M_n = 0{,}85 \times f_c' \times b \times a \ (d - a/2) \quad (3.4)$$

Atau

$$M_n = T_s \times (d - a/2) \quad (3.5)$$

$$M_n = A_s \times fy \times (d - a/2) \quad (3.6)$$

Sedangkan, untuk balok beton tulangan rangkap dapat dicari menggunakan rumus berikut ini.

$$C_s = A_s \times fs \quad (3.7)$$

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

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

3.1.1 Beton

Beton adalah suatu bahan yang terdiri dari perpaduan agregat, semen, dan air saat keadaan plastis serta mudah untuk dikerjakan. Berdasarkan karakteristik ini beton lebih mudah dibentuk sesuai yang diinginkan. Reaksi kimia terjadi setelah

pencampuran, bersifat hidrasi dan dapat membuat pengerasan dan pertambahan kekuatan (Ahmad et al., 2009).

Beton pada umumnya memiliki sifat yang dipengaruhi oleh kualitas bahan, cara pengerjaan, dan perawatannya. Selain itu karakteristik semen juga mempengaruhi kualitas beton dan waktu pengerasannya. Sedangkan, gradasi agregat kasar mempengaruhi pengerjaannya dan agregat halus mempengaruhi kekuatan beton. Kualitas dan kuantitas air dapat mempengaruhi pengerasan dan kekuatannya (Murdock dan Brook, 2003).

1. Kuat Tekan

   Beton memiliki sifat utama yang sangat kuat untuk menerima beban tekan, maka mutu beton yang perlu ditinjau adalah kuat tekan beton tersebut. Kuat tekan silinder beton yang akan ditinjau telah mencapai 28 hari, dengan notasi fc'. Pengujian kuat tekan beton yang akan dilakukan menggunakan benda uji dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm lalu ditekan dengan beban P hingga runtuh. Pada saat benda uji menahan beban tekan P, akan menimbulkan tegangan tekan beton (σ_c) dengan beban sejumlah (P) dibagi dengan luas penampang beton (A), jika dirumuskan akan menjadi seperti persamaan 3.10 berikut.

   $$\sigma_c = \frac{P}{A} \tag{3.10}$$

   Dengan:

   σ_c = tekanan tekan beton (MPa)

   P = beban tekan (N)

   A = luas penampang beton (mm^2)

   Beban (P) akan menimbulkan perubahan fisik pada silinder beton menjadi lebih pendek, sehingga akan terjadi regangan tekan pada beton (ε_c') sebesar perpendekan beton (ΔL) kemudian dibagi dengan tinggi awal silinder beton (L_0), seperti yang dirumuskan pada persamaan 3.11 berikut.

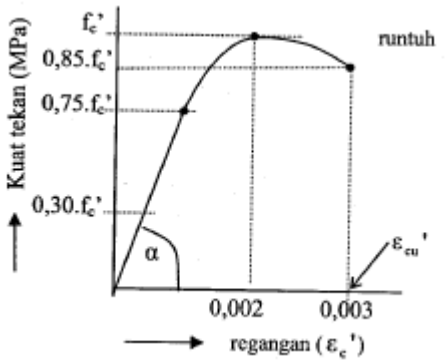
   $$\varepsilon_c' = \frac{\Delta L}{L_0} \tag{3.11}$$

Dengan:

ε_c' = regangan beton

ΔL = perpendekan beton (mm)

L_0 = tinggi awal silinder beton (mm)



Gambar 3.3 Hubungan Tegangan dan Regangan Tekan Beton
(Sumber: Asroni, 2010)

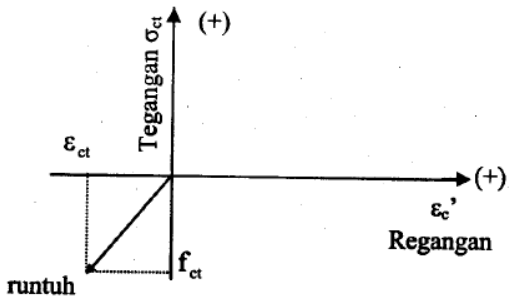
Pada Gambar 3.3 Perilaku tegangan regangan beton dijelaskan dibawah ini:

a. Saat beban tekan mencapai 0
b. 0,3 f_c' – 0,4 f_c', perilaku tegangan beton pada dasarnya masih linear. Retak lekatan (*bond crack*) sebelum terjadi tegangan tekan sudah terbentuk, namun dapat tetap stabil dan tidak berubah selama nilai tegangan tekan dibawah 0,3 f_c'.
c. Saat beban tekan melebihi 0,3 f_c' – 0,4 f_c', keretakan lekatan sudah mulai terbentuk. Pada saat ini deviasi hubungan tegangan-regangan mulai dari kondisi linear.
d. Saat beban tekan mencapai 0,75 f_c' – 0,90 f_c', keretakan lekatan mulai merambat ke mortar sehingga terbentuk pola retak yang berkelanjutan. Saat kondisi ini hubungan tegangan-regangan beton semakin menyimpang dari kondisi linear.

2. Kuat Tarik

Beton memiliki perilaku yang berbeda pada saat beban aksial tarik diberikan, kaitan antara tegangan dengan regangan tarik beton biasanya memiliki sifat

linear hingga terjadi keretakan dan diikuti oleh keruntuhan beton sesuai dengan Gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3.4 Hubungan Tegangan dan Regangan Tarik Beton
(Sumber: Asroni, 2010)

Menurut Asroni (2010), kuat tarik beton (f_{ct}) memiliki nilai yang lebih sedikit dibanding nilai kuat tekannya, yakni sekitar 10% dari nilai kuat tekan beton.

3. Modulus Elastisitas Beton

Menurut Gambar 3.2 dijelaskan bahwa sudut α, yaitu sudut diantara garis lurus kurva yang ditarik dari kondisi tegangan nol sampai tegangan tekan sebesar 0,45.f_c' dan garis regangan ε_c'. Nilai modulus elastisitas beton (E_c) adalah nilai tangens dari sudut α tersebut. Berdasarkan pasal 19.2.2 SNI 2847-2019, perhitungan modulus elastisitas beton dapat ditentukan menurut berat beton normal (W_c) dan kuat tekan beton menggunakan persamaan 3.12 berikut.

$$E_c = (W_c)^{1.5} \times 0{,}043 \times \sqrt{fc'} \qquad (3.12)$$

Dimana:

E_c = modulus elastisitas beton (MPa)

W_c = 1500 – 2500 kg/m^3

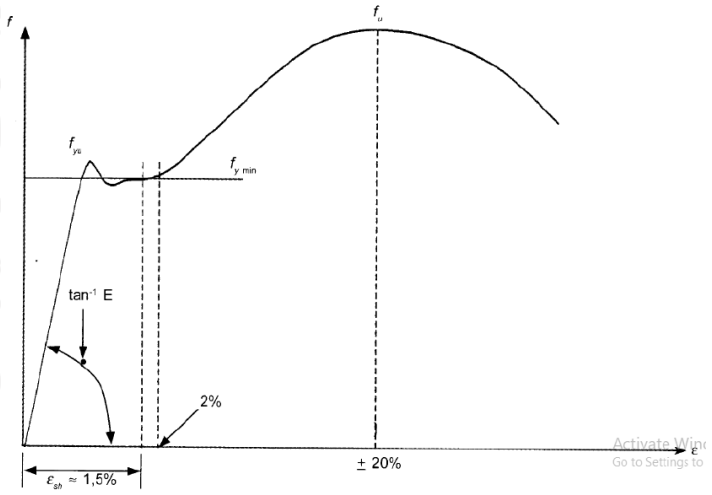
Untuk perhitungan beton normal dapat menggunaan persamaan 3.13 di bawah ini.

$$E_c = 4700\ x\ \sqrt{fc'} \qquad (3.13)$$

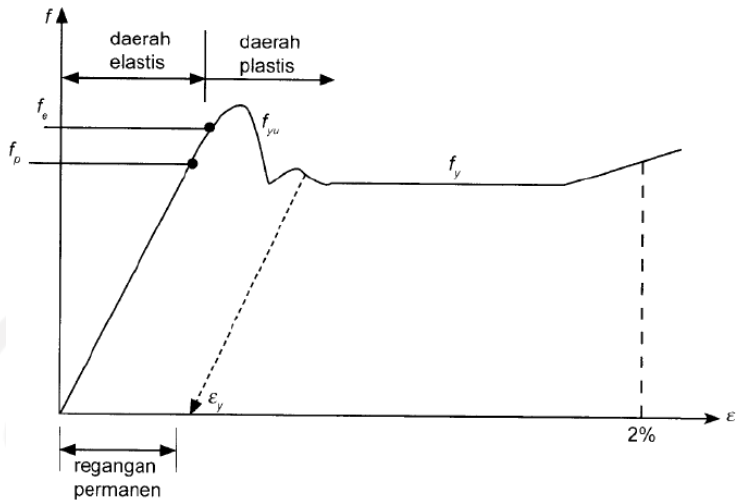
3.1.2 Baja Tulangan

Menurut SNI 2052-2017 baja tulangan memiliki dua jenis, yaitu tulangan polos (*plain*) dan tulangan ulir (*deformed*). Namun pada pembaharuan SNI 2847-2019 pasal 20, tulangan dan kawat nonprategang harus berulir, kecuali penggunaan batang atau kawat polos sebagai tulangan spiral diperbolehkan. Komponen logam lain, contohnya seperti baut angkur, pelat ring, atau baja polos pada isolasi atau joint konstruksi, biasanya tidak dapat diperhitungkan sebagai baja tulangan. Peraturan ini berlaku pada struktur gedung tahan gempa, namun pada kasus tugas akhir ini tidak masalah menggunakan baja tulangan polos sebagai benda uji utama.

Baja tulangan dalam konstruksi beton bertulang memiliki peran yang sangat penting, mengingat struktur beton bertulang hanya memiliki 2 unsur utama yaitu beton dan baja tulangan. Baja tulangan memiliki sifat mekanik yang penting untuk diperhatikan pada perencanaan beton bertulang, diantaranya ialah tegangan leleh (fy) dan modulus elastisitas (Es). Sifat mekanik baja tulangan perlu diketahui terlebih dahulu dengan cara melakukan uji tarik. Berikut ini grafik tegangan-regangan baja dapat dilihat pada Gambar 3.5 dan 3.6 berikut.



Gambar 3.5 Hubungan Tegangan (f) vs Regangan (ε) Baja
(Sumber: Setiawan, 2008)



Gambar 3.6 Lanjutan Hubungan Tegangan (f) vs Regangan (ε) Baja
(Sumber: Setiawan, 2008)

Gambar 3.5 dan 3.6 merupakan hasil pengujian tarik baja dengan menggunakan suhu kamar dengan laju regangan yang normal. Dalam benda uji terjadi tegangan nominal (f) dan diletakkan pada sumbu vertical, sedangkan regangan (ε) yang digunakan untuk perbandingan penambahan Panjang diletakkan pada sumbu horizontal. Pada Gambar 3.5 pengujian tarik baja dilakukan hingga benda uji runtuh, sedang pada Gambar 3.6 merupakan gambaran yang lebih jelas.

Berikut merupakan keterangan dari Gambar di atas.

f_p = batas proporsional

f_e = batas elastis

f_{yu}, f_y = tegangan leleh atas dan bawah

f_u = tegangan putus

$\boldsymbol{\varepsilon}_{sb}$ = regangan saat mulai terjadi efek *strain-hardening*

$\boldsymbol{\varepsilon}_u$ = regangan saat tercapainya tegangan putus

3.2 Sambungan Tulangan

Sambungan tulangan terdapat beberapa jenis, telah diatur dalam SNI 2847:2019, sambungan tulangan terdiri dari sambungan lewatan, sambungan mekanis, sambungan las tumpul (*butt welded*), dan sambungan tumpuan ujung.

3.2.1 Sambungan Tulangan Lewatan

Menurut SNI 2847:2019 sambungan tulangan wajib mengikuti seluruh ketentuan kombinasi beban terfaktor. Persyaratan sambungan telah dirumuskan bahwa sambungan lewatan tekan memiliki kekuatan tarik sekurang-kurangnya 0,25fy. Apabila gaya pada tulangan dari beban terfaktor adalah tekan, maka sambungan lewatan tekan diperbolehkan untuk dikurangi, tetapi panjang sambungan lewatan tidak boleh kurang dari 300 mm.

Panjang penyaluran $\boldsymbol{\ell d}$ digunakan untuk mendapatkan panjang lewatan yang didasarkan pada fy karena pembagian jenis sambungan lewatan mencerminkan penulangan berlebih pada lokasi sambungan lewatan dipasang, sehingga nilai faktor untuk nilai A_s berlebih tidak boleh digunakan. Panjang sambungan lewatan **ℓst** batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik harus disesuaikan dengan Tabel 3.1, dimana $\boldsymbol{\ell d}$ sesuai dengan Tabel 3.2. $\boldsymbol{\ell d}$ berdasarkan dua nilai yang terpilih sebelumnya yaitu $(c_b + K_{tr})/d_b$.

Menurut pasal 25.4.2.1 SNI 2847:2019, Panjang penyaluran ld untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik harus yang terbesar dari pasal a dan b:

a. Hasil Panjang penyaluran sesuai dengan pasal 25.4.2.2 atau 25.4.2.3 dengan mengikuti faktor modifikasi yang telah ditentukan pada pasal 25.4.2.4
b. 300 mm

Berdasarkan pasal yang telah dijelaskan di atas, berikut merupakan penjabaran untuk perhitungan penyaluran tulangan batang ulir dalam kondisi tarik menurut pasal 25.4.2.2

Tabel 3.1 Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi Tarik.

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

(Sumber: SNI 2847:2019)

Dari tabel 3.1 di atas, sesuai dengan spesifikasi benda uji yang akan diteliti yaitu diameter tulangan D13 dengan Sengkang 40 mm maka panjang penyaluran akan dihitung menggunakan persamaan 3.14.

$$\ell d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2{,}1\lambda\sqrt{f_c'}}\right) d_b \qquad (3.14)$$

Ketentuan menurut SNI 2847:2019 memberikan dua pilihan pendekatan dalam menghitung panjang penyaluran, penulis dapat menggunakan rumus

sederhana seperti pada persamaan 3.14 atau persamaan umum panjang penyaluran. Pada persamaan 3.15 berikut ini merupakan rumus umum panjang penyaluran menurut pasal 25.4.2.3.

$$\ell d = \left(\frac{f_y}{1{,}1\lambda\sqrt{f_c'}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)} \right) d_b \qquad (3.15)$$

Dimana nilai $(c_b + K_{tr})/d_b$ tidak lebih besar dari 2,5 dan $K_{tr} = \frac{40A_{tr}}{sn}$.

Persamaan yang telah ditentukan di atas dapat dihitung dengan menggunakan faktor modifikasi yang telah ditentukan pada pasal 25.4.2.4.

Tabel 3.2 Faktor Modifikasi Panjang Penyaluran Tulangan Ulir

Faktor modifikasi	Kondisi	Faktor
Beton ringan λ	Beton ringan	0,75
	Beton ringan, bila f_{ct} ditentukan	Sesuai dengan 19.2.4.3
	Beton normal	1,0
Epoksi Ψ_e	Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan selimut bersih kurang dari $3d_b$ atau spasi kurang dari $6d_b$	1,5
	Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan kondisi lainnya	1,2
	Tulangan tanpa pelapis atau pelapis seng (galvanis)	1,0
Ukuran Ψ_s	Batang D22 dan yang lebih besar	1,0
	Batang D19 dan yang lebih kecil dan kawat ulir	0,8
Posisi pengecoran [1] Ψ_t	Lebih dari 30 mm beton segar diletakkan di bawah tulangan horizontal	1,3
	lainnya	1,0

[1] Hasil dari $\Psi_t \Psi_e$ tidak boleh melebihi 1,7

(Sumber: SNI 2847:2019)

3.2.2 Sambungan Mekanis *Clamp*.

Sambungan mekanis dalam penggunaannya di Indonesia telah diatur dalam SNI 2847:2019

1. Sambungan lewatan, sambungan mekanis, sambungan las tumpul (*butt-welded*), dan sambungan tumpuan ujung dapat diizinkan. (pasal 10.7.5.1.1)
2. Tulangan nonprategang dan sambungan mekanis yang akan menahan tarik dari momen harus diletakkan sejauh h/4 dari tepi diafragma yang akan mengalami tarik, dimana h merupakan tinggi diafragma. Ketika terjadi perubahan pada tinggi diafragma pada sepanjang bentang, maka diijinkan untuk dapat meneruskan tulangan ke segmen diafragma terdekat dan tidak berada dalam batasan h/4.

Sambungan mekanis yang beredar di Indonesia pada saat ini banyak tersedia, dari segi fitur fisik, karakteristik mekanik, dan instalasinya. Menurut Ginting (2014) sambungan mekanis yang digunakan di tulangan pada prinsipnya terdiri dari sambungan melalui mekanisme ujung ujung (*in line mechanical*) dan sambungan mekanisme lewatan (*off set mechanical*). Menurut ACI 439.3R-91 sambungan mekanis terbagi dalam 3 kategori, yaitu:

1. Sambungan Mekanis Tegangan Tekan (*Compression only Mechanical Connections*)

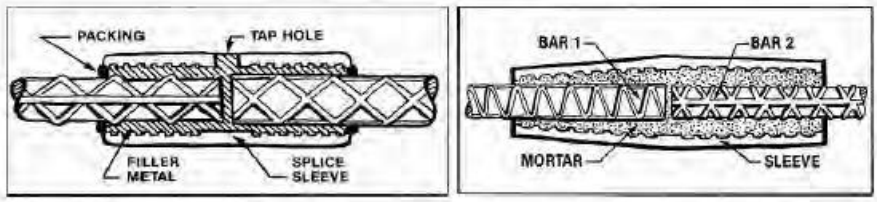
   Sambungan ini memiliki mekanisme dengan cara pemindahan tegangan tekan dari ujung tulangan satu menuju ujung tulangan lainnya dalam satu garis sumbu (konsenstris). Sambungan kategori ini terbagi dalam 4 jenis, yaitu *Solid-Type Steel Coupling Sleeve, Strap-Type Steel Coupling Sleeve, Steel-Filled Coupling Sleeve, dan Wedge-Locking Coupling Sleeve.* Adapun gambar 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 merupakan berbagai macam sambungan tipe *Compression only Mechanical Connections.*



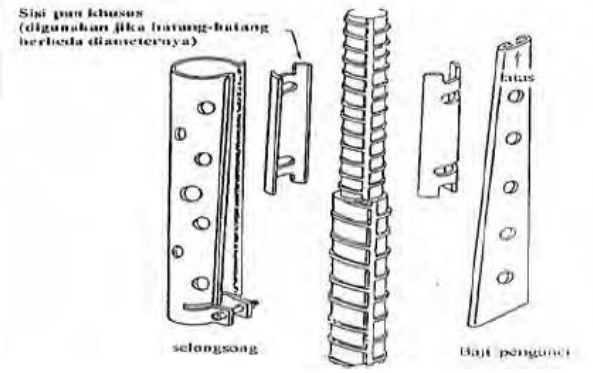
Gambar 3.7 ***Solid-Type Steel Coupling Sleeve***
(Sumber: ACI 439.3R-91)



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



Gambar 3.9 ***Steel-Filled Coupling Sleeve***
(Sumber: ACI 439.3R-91)



Gambar 3.10 ***Wedge-Locking Coupling Sleeve***
(Sumber: ACI 439.3R-91)

2. Sambungan Mekanis Tegangan Tarik (*Tension only Mechanical Connections*)
   Sambungan kategori ini hanya digunakan pada kondisi dimana tulangan mengalami tegangan tarik seperti tulangan lentur, tulangan muai-susut. Menurut Parmo, Tavio (2015) sambungan ini dapat mengembangkan sebanyak 125% dari tegangan leleh baja tulangan yang disambung, selain itu dapat digunakan untuk menyambung tulangan dengan diameter yang berbeda. Beberapa jenis sambungan ini antara lain *Steel Coupling Sleeve with Wedge* dan *Bar Splice Double Barrel*. Gambar 3.11 dan 3.12 dibawah ini merupakan contoh sambungan kategori *Tension only Mechanical Connections:*



Gambar 3.11 *Steel Coupling Sleeve with Wedge*
(Sumber: ACI 439.3R-91)



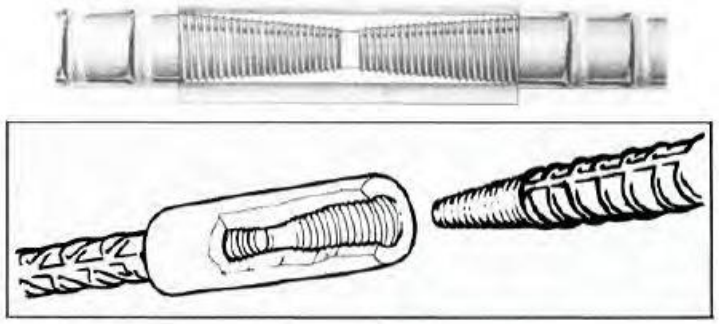
Gambar 3.12 *Bar Splice Double Barrel*
(Sumber: ACI 439.3R-91)

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

   Sambungan kategori ini merupakan fungsi gabungan tekan dan tarik. Adapun beberapa contoh jenis sambungan ini adalah *Cold-Swaged Steel Coupling Sleeve* pada Gambar 3.13 dan *Taper-Threaded Steel Coupler* pada Gambar 3.14.



Gambar 3.13 *Cold-Swaged Steel Coupling Sleeve*
(Sumber: ACI 439.3R-91)



Gambar 3.14 *Taper-Threaded Steel Coupler*
(Sumber: ACI 439.3R-91)

3.3 Mix Design

Mix Design adalah proses merencanakan dan menentukan bahan material yang akan digunakan serta proporsi relatif dengan tujuan memproduksi beton dengan kekuatan tertentu, daya tahan tertentu dan secara ekonomis. Perencanaan campuran beton yang akan dilakukan pada penelitian ini menggunakan sumber SNI 03-2834-2000. Berikut akan dijelaskan mengenai tahapan *mix design*.

1. Kuat tekan rencana

   Kuat tekan rata-rata yang diisyaratkan pada umur beton tertentu dapat dihitung menggunakan persamaan 3.16 dibawah.

$$f_{cr} = f_c' + M \tag{3.16}$$

   Dimana:

$$M = 1{,}64 \times S_r \tag{3.17}$$

   Dengan:

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

   f_c' = kuat tekan rencana (MPa)

   M = nilai tambah

   1,64= ketetapan statistic

   S_r = deviasi standar

   Nilai deviasi standar menurut SNI 03-2834-2000 dapat dilihat pada Tabel 3.3 dibawah.

Tabel 3.3 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)

Dengan catatan jumlah benda uji kurang dari 15 buah, maka nilai f_{cr} tidak kurang dari $(f_c' + 12)$ MPa.

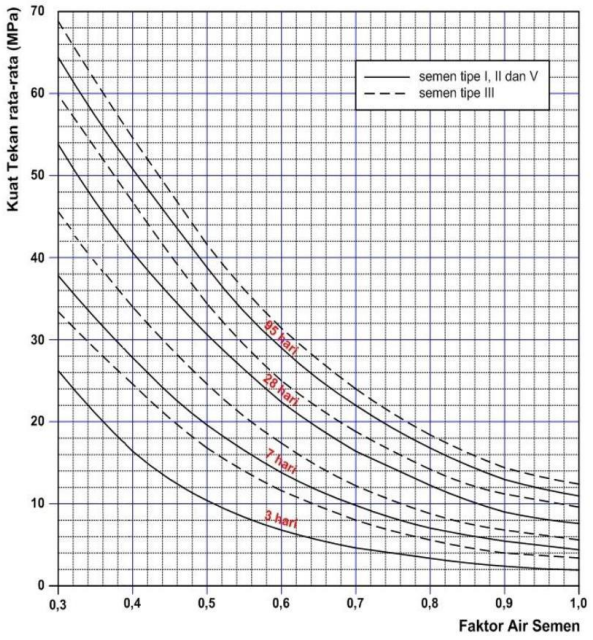
2. Faktor air semen (FAS)

   Hubungan antara kuat tekan dengan faktor air semen dapat ditentukan melalui Tabel 3.4 dan grafik pada Gambar 3.15 dibawah ini.

Tabel 3.4 Perkiraan Kekuatan Tekan Beton

Jenis semen	Jenis agregat Kasar	Kekuatan tekan (MPa)				
		Pada umur (hari)				Bentuk
		3	7	28	29	Bentuk uji
Semen Portland Tipe 1	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



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

Gambar 3.15 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Faktor Air Semen
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

3. Kadar Air Bebas

Nilai slump ditentukan mengikuti keadaan pada saat pekerjaan dilaksanakan supaya dapat memperoleh beton yang mudah dituang, dipadatkan, dan diratakan. Nilai slump dapat dihitung menggunakan rumus pada persamaan 3.18 berikut.

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3}Wh + \frac{1}{3}Wk \qquad (3.18)$$

Dengan:

Wh = perkiraan jumlah air untuk agregat halus

Wk = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

Untuk nilai Wh dan Wk dapat dilihat pada Tabel 3.5 dibawah ini.

Tabel 3.5 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3)

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

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

4. Kadar Semen

Kadar air semen dapat dihitung dengan persamaan 3.19 seperti dibawah ini.

$$\text{Kadar semen} = \frac{kadar\ air\ bebas}{faktor\ air\ semen} \quad (3.19)$$

Setelah perhitungan menggunakan persamaan di atas kemudian menentukan syarat kadar semen minimum dan faktor air semen maksimum dengan memperhatikan Tabel 3.6. Apabila kadar semen tidak sesuai dari yang telah ditentukan maka perlu diperhitungkan kembali.

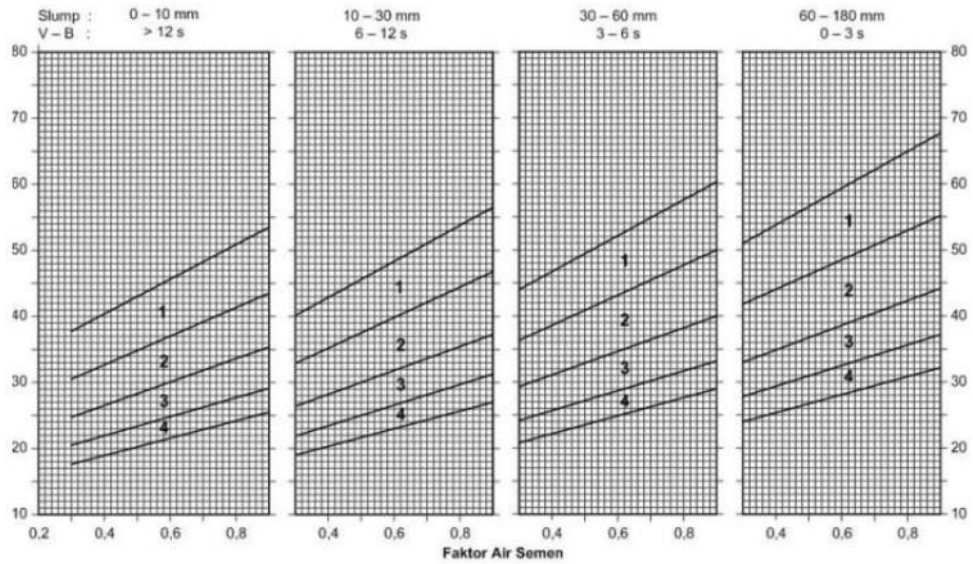
Tabel 3.6 Persyaratan Minimum Kadar Semen dan Nilai FAS Maksimum

Lokasi	Jumlah Semen minimum Per m3 beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan: a. Keadaan keliling non-korosif b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	275 325	0,60 0,52
Beton di luar ruangan bangunan: a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325 275	0,60 0,60
Beton masuk ke dalam tanah: a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	325	0,55
Beton yang kontinu berhubungan: a. air tawar b. air laut		

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

5. Kadar agregat halus

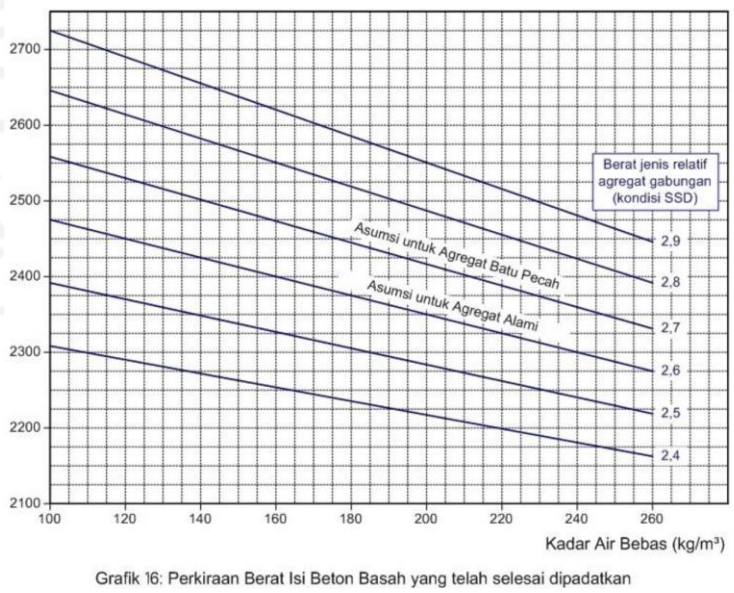
   Penentuan kadar agregat halus dinyatakan dalam bentuk nilai presentase meliputi data *slump* dan FAS, selain itu perlu memperhatikan area gradasi dari butir agregat halus. Dari presentase agregat halus dapat ditentukan dengan bantuan grafik pada Gambar 3.16 dibawah ini.



Gambar 3.16 Grafik Persentase Agregat Halus
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

6. Berat Isi Beton

Penetapan nilai nya dilakukan menurut grafik yang tertera di Gambar 3.17 berikut mengikuti nilai kadar air bebas dengan nilai berat jenis relatif dari agregat campuran.



Gambar 3.17 Grafik Berat Isi Beton
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

7. Komposisi Material

   Dari perhitungan berat air dan berat semen serta berat isi beton, didapatkan berat agregat campurannya. Nilai presentase dan berat yang telah diketahui dapat digunakan untuk memperoleh berat masing-masing material dalam 1 m^3 campuran beton.

3.3.1 Damdex (Bahan Tambah)

Selain agregat, semen dan air, terdapat bahan lain yang dapat ditambahkan ke dalam campuran beton, yaitu *admixture*. Admixture dapat ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat sebelum, atau selama proses pengadukan berlangsung. Bahan ini bertujuan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik beton. Bahan tambah dibedakan kedalam 2 jenis, yaitu bahan tambah kimia dan bahan tambah mineral.

Damdex merupakan salah satu jenis bahan tambah kimia yang memiliki karakteristik berupa larutan yang berwarna kecoklatan. Menurut deskripsi produk pada laman resmi Damdex, sebagai bahan tambah dalam campuran beton Damdex dapat meningkatkan kualitas dan daya tekan beton hingga 35%, serta mempercepat proses pengerasan beton hingga 50% dan membuat beton menjadi taha bocor. Dalam penggunaannya, pada kemasan produk Damdex diisyaratkan sebanyak 2% dari berat semen.

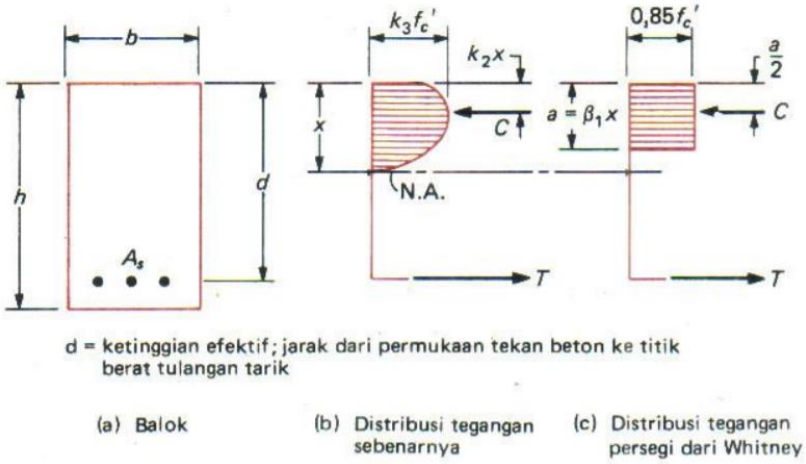
Dalam penelitian ini, damdex digunakan untuk mempercepat proses pengerasan beton. Rencana awal waktu perawatan beton 28 hari, untuk dapat diuji dalam waktu 14 hari maka digunakan damdex. Penggunaan damdex dalam campuran beton penelitian ini sesuai dengan yang diisyaratkan, yaitu sebanyak 2% dari berat semen.

3.4 Kuat Lentur Beton

Suatu beban apabila berada pada struktur baik beban gravitasi maupun beban yang disebabkan oleh angin, bisa juga beban susut dan perubahan temperature dapat menimbulkan adanya lentur dan deformasi dalam sebuah komponen struktur.

Regangan yang timbul karena adanya regangan luar dapat menyebabkan lentur pada balok. (Nawy and Edward, 1998).

Kuat lentur pada balok beton bertulang berasal dari perpaduan gaya tekan beton dan gaya tarik tulangan. Perpaduan ini dapat terjadi karena lengkungan lentur balok yang mengakibatkan tegangan tekan di sisi atas balok dan tegangan tarik pada sisi bawah balok saat menahan momen positif. Gambar 3.18 dibawah ini merupakan ilustrasi gaya yang terjadi.



Gambar 3.18 Diagram Regangan Tegangan Balok Beton Tulangan Tunggal
(Sumber: http://martinisimatupang.lecture.ub.ac.id)

Berdasarkan perpaduan gaya yang terjadi maka diperoleh kapasitas momen seperti persamaan 3.20 dibawah.

$$M_n = 0{,}85 \times f'_c \times a \times b \times (d - {}^1/_2\, a) \qquad (3.20)$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0{,}85 \times f'_c \times b} \qquad (3.21)$$

Keterangan:

f'_c = kuat tekan beton rencana (MPa)

b = Lebar balok (mm)

d = Tinggi efektif balok (mm)

a = Tinggi balok tekan ekivalen (mm)

A_s = Luas tulangan tarik (mm^2)

f_y = Tegangan leleh baja tulangan (MPa)

3.5 Keruntuhan Balok

3.5.1 Jenis Keruntuhan

Keruntuhan yang terjadi pada balok kembali pada sifat-sifat penampang balok. Menurut Trian D. Y, 2015 keruntuhan balok dapat dibedakan menjadi 3. Berikut merupakan jenis keruntuhan balok.

1. Keruntuhan Tekan (*over reinforced concrete*)

   Keruntuhan tekan dapat dikatakan apabila beton mengalami kehancuran sesaat sebelum baja tulangan leleh. Jenis keruntuhan ini biasa terjadi pada balok yang memiliki rasio tulangan besar, hal ini karena Ketika beban bekerja maksimum dan baja tulangan belum mencapai regangan lelehnya namun beton sudah mencapai regangan maksimumnya.

   Balok dengan jenis keruntuhan seperti ini bersifat getas, sehingga ketika beton mulau runtuh baja tulangan masih kuat serta lendutan pada balok relative tetap. Namun apabila beban ditambah, baja tulangan akan meleleh dan keruntuhan akan terjadi secara tiba-tiba tanpa adanya lendutan yang membesar pada balok.

2. Keruntuhan Seimbang (balance).

   Balok yang mengalami keruntuhan seimbang Ketika beton hancur dan baja tulangan meleleh pada saat yang bersamaan, sehingga pada saat beban bekerja secara maksimum baja tulangan dan beton hancur bersamaan. Dalam hal ini artinya regangan tekan beton mencapai regangan maksimum yaitu 0,03 dan dan regangan tarik baja tulangan mencapai leleh disaat yang bersamaan.

   Apabila beton dan baja tulangan mengalami keruntuhan pada saat yang bersamaan, artinya performa beton dan baja tulangan dapat dimanfaatkan secara maksimal sehingga menjadi lebih efisien. Kondisi ini merupakan contoh perencanaan beton bertulang yang ideal.

3. Keruntuhan Tarik (*under reinforced concrete*)

   Keruntuhan tarik dapat terjadi Ketika baja tulangan sudah leleh sebelum beton mengalami kehancuran. Jenis keruntuhan ini terjadi pada balok yang memiliki rasio tulangan kecil, sehingga saat beban telah mencapai maksimum

baja tulangan sudah leleh sedangkan beton belum mencapai regangan maksimumnya.

Keruntuhan tarik memberikan keuntungan karena Ketika baja mengalami leleh, beton masih kuat untuk menahan sehingga beton masih mampu memberikan lendutan. Apabila balok mendapatkan tambahan beban maka lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan. Dalam kondisi ini, lendutan menjadi pertanda balok sebelum runtuh.

3.5.2 Pola Retak Balok

Retakan pada benda uji balok berarti bahwa setiap lebar celah retak sebanding dengan besarnya tegangan yang terjadi pada baja tulangan tarik serta beton sesuai ketebalan selimut beton. Retak pada balok tidak dapat dicegah, namun dapat diantisipasi dengan cara mendistribusikan tulangan.

Menurut MacCormac (2001) terdapat lima jenis pola retak pada balok seperti yang dijelaskan dibawah ini.

1. Retak Lentur

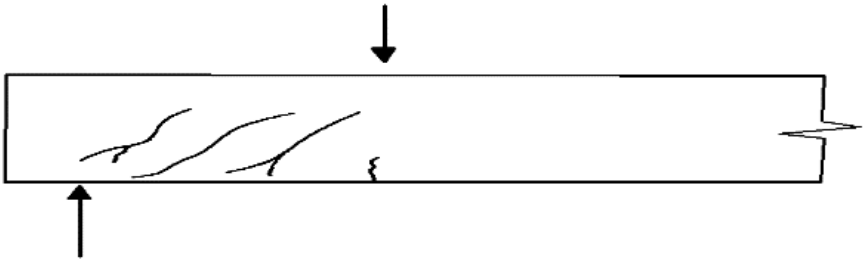
   Retak lentur merupakan retak yang terjadi secara vertikal memanjang dari daerah tarik dan mengarah ke daerah tekan hingga sumbu netral. Retak lentur diilustrasikan seperti Gambar 3.19 dibawah ini.



Gambar 3.19 Pola Retak Lentur Balok
(Sumber: Kholilul, 2009)

2. Retak geser

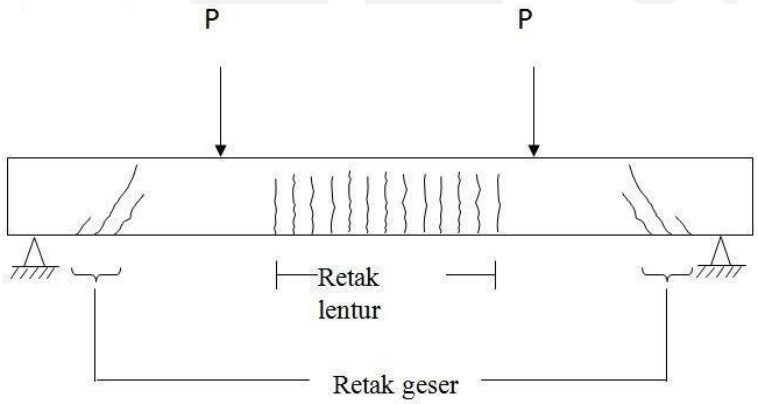
   Retak ini membentuk pola retak miring akibat geser dan dapat terjadi pada bagian badan secara bebas terbentuk maupun perpanjangan dari retak lentur. Berikut pada Gambar 3.20 merupakan ilustrasi pola retak geser.



Gambar 3.20 Pola Retak Geser
(Sumber: Kholilul, 2009)

3. Retak Geser Lentur

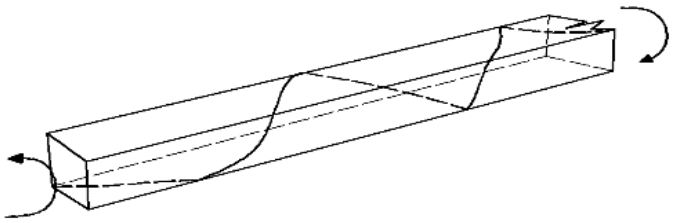
   Pola retak ini merupakan jenis yang sering ditemukan pada balok, retakan ini adalah perpaduan antara retak lentur dengan retak geser. Untuk mengetahui ilustrasi retak geser lentur dapat dilihat pada Gambar 3.21.



Gambar 3.21 Retak Geser Lentur
(Sumber: Kholilul, 2009)

4. Retak Puntir

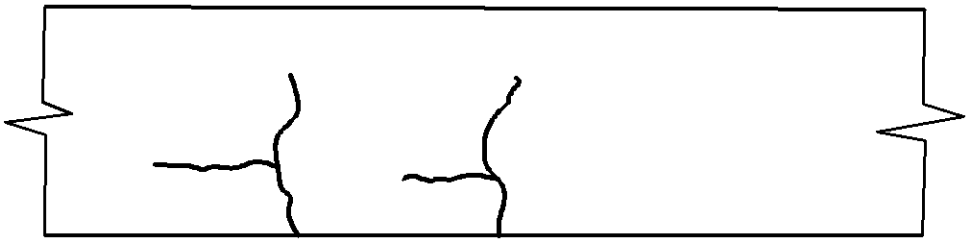
   Retak jenis ini memiliki kemiripan dengan retak geser, perbedaannya yaitu pada retak puntir terjadi melingkar balok atau pelat satu arah. Apabila suatu bentang beton tanpa adanya tulangan menerima torsi, bentang tersebut akan timbul retakan dan runtuh sepanjang 45 derajat akibat tarik diagonal yang disebabkan tegangan puntir. Ilustrasi retak puntir dapat dilihat pada Gambar 3.22 dibawah.



Gambar 3.22 Retak Puntir
(Sumber: Kholilul, 2009)

5. Retak Lekatan

   Pola retak ini terjadi akibat tegangan lekatan dari beton dan tulangan yang menyebabkan pemisahan pada sepanjang tulangan. Berikut merupakan ilustrasi retak lekatan pada Gambar 3.23.



Gambar 3.23 Retak Lekatan
(Sumber: Kholilul, 2009)

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian adalah langkah-langkah ilmiah yang disusun secara sistematis untuk mencapai tujuan tugas akhir. Ilmiah dalam hal ini artinya penelitian yang dilakukan didasarkan pada ciri keilmuan seperti rasional, empiris, dan sistematis. Selain itu, metode penelitian memberikan pandangan pada saat dilakukan penelitian meliputi: prosedur dan tahapan yang harus dilakukan, waktu penelitian, sumber data, dan tata cara mendapatkan data untuk selanjutnya dapat diolah dan dianalisis.

Metode penelitian yang digunakan pada Tugas Akhir penulis adalah metode eksperimental. Penelitian yang menggunakan metode eksperimental dilakukan untuk mengetahui akibat yang ditimbulkan dari suatu perlakuan yang sebelumnya telah ditentukan oleh peneliti. Pada prinsipnya, penelitian eksperimental merupakan metode yang sistematis untuk membangun hubungan sebab akibat pada topik yang diangkat (Sukardi, 2011).

4.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitan adalah segala sesuatu yang memiliki variasi tertentu dan ditetapkan oleh peneliti dengan tujuan untuk mempelajari mengenai suatu topik kemudian dapat ditarik sebuah kesimpulan (Sugiyono, 2007). Dalam penelitian ini terdapat dua variabel seperti yang dijelaskan dibawah ini:

1. Variabel bebas (*independent variable*) pada penelitian ini ialah penggunaan sambungan tulangan lewatan & sambungan tulangan *clamp.*
2. Variabel terikat (*dependent variable*) yaitu berupa nilai kuat tekan (f'c) beton, diameter tulangan, nilai kuat tarik baja tulangan.

4.3 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini dimaksudkan untuk memudahkan penulis dalam melakukan analisis perbandingan kekuatan lentur balok antara sambungan tulangan lewatan dan sambungan tulangan mekanis jenis *clamp.* Terdapat dua jenis data dalam penelitian ini, yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data primer

   Data primer merupakan data yang didapatkan penulis dari hasil pengujian yang dikerjakan. Data tersebut meliputi data pembebanan maksimum pada setiap pengujian, durasi pembebanan, berat balok beton serta data berat balok beton.
2. Data sekunder

   Data sekunder dalam penelitian ini merupakan data yang bersumber dari media perantara berupa buku, jurnal, atau arsip yang telah disebarluaskan pada khalayak umum. Data sekunder yang dipakai oleh penulis adalah Standar Nasional Indonesia (SNI), serta jurnal-jurnal penelitian yang memiliki kemiripan topik.

4.4 Bahan-Bahan yang Digunakan

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Bahan-bahan beton bertulang
   a. Semen Portland.
   b. Agregat halus dan agregat kasar.
   c. Air bersumber dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
   d. Damdex
   e. Baja tulangan ukuran P10 dan D13.
2. Bahan untuk *clamp* yaitu menggunakan pelat baja dengan tebal 5 mm.

4.5 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Alat-alat yang digunakan antara lain:

1. Mixer atau pengaduk beton.
2. Bekisting dengan dimensi 200 x 300 x 2000 mm berbahan multiplex.
3. Neraca berkapasitas 20 kg.
4. Saringan dan *Vibrator* Saringan
5. Cetakan silinder dengan dimensi 15 cm dan tinggi 30 cm
6. Alat uji tekan silinder beton (*Compression Testing Machine*)
7. *Crane* yang digunakan untuk mempermudah mobiisasi benda uji balok.
8. *Load cell* digunakan untuk membaca beban yang terjadi pada beton.
9. *Data logger* yaitu alat yang digunakan untuk membaca sekaligus menampilkan data dari pengujian.
10. Pengunci Torsi (*Torque Wrench*)
11. Alat bantu lain seperti wadah, ember, kuas, cangkul, sekop, oven, alat uji *slump*, palu, dll.

4.6 Pelaksanaan Penelitian

Adapun untuk pelaksanaan penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Tahap I (Persiapan)

   Persiapan yang dilakukan pada tahapan ini berdasarkan studi literatur yang telah dikumpulkan oleh penulis. Persiapan ini meliputi alat dan bahan yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji.

   a. Material Agregat

      Dalam penelitian ini material agregat yang digunakan untuk campuran balok beton adalah agregat halus dan agregat kasar yang sebelumnya telah dilakukan pencucian agregat dan dilanjutkan untuk di angin-angin sehingga mencapai keadaan *SSD*.

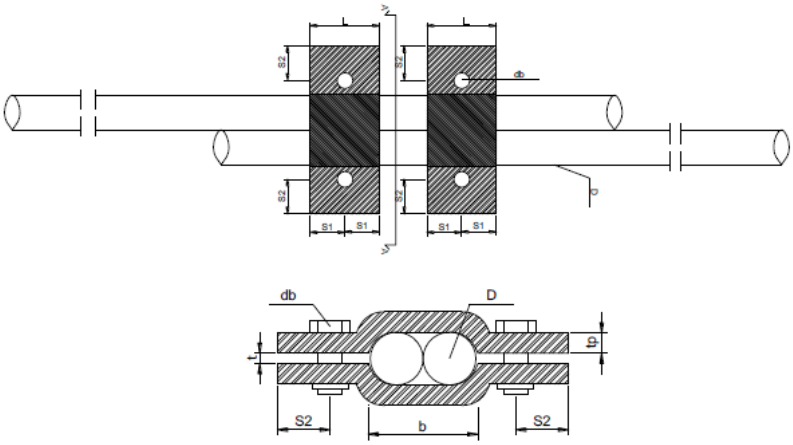
   b. Material Tulangan

      Tulangan yang digunakan untuk penelitian ini menggunakan tulangan polos sebagai tulangan tekan, serta tulangan sirip/ulir pada tulangan tarik. Untuk mencapai diameter yang diinginkan, penulis menggunakan tulangan D13

merk KS karena memiliki toleransi yang lebih sedikit dibandingkan merk lain.

c. Material Sambungan Mekanis *Clamp*

Dalam penelitian ini, desain *clamp* yang digunakan merujuk pada penelitian Ginting (2014). *Clamp* dibentuk menggunakan material pelat baja tebal 5 mm dengan cara dipress sehingga mencapai bentuk yang diinginkan. Berikut merupakan desain *clamp* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4.3 Sambungan Mekanis *Clamp*
(Sumber: Ginting, 2014)

Keterangan:

db = 8 mm

s1 = 15 mm

s2 = 20 mm

L = 30 mm

b = 26 mm

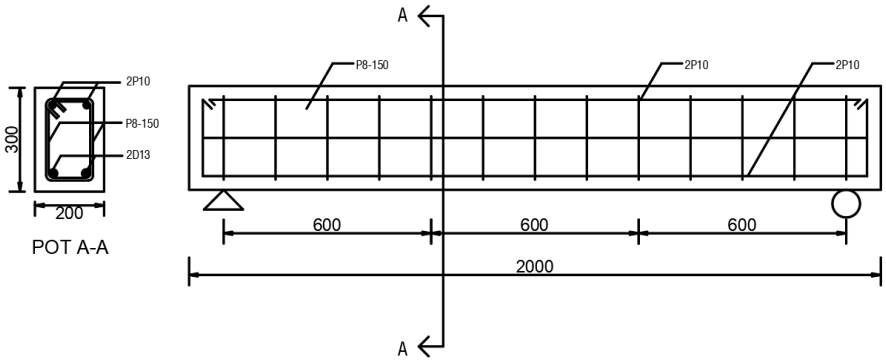
t = 3 mm

Sedangkan baut yang digunakan untuk mengunci *clamp* berjenis baut mutu tinggi (*High Strength Bolt*) berupa baut Grade 8.8 berukuran 2,5 cm. Baut ini digunakan untuk mencengkram sambungan tulangan dan menimbulkan tegangan tarik sehingga menyebabkan gaya jepit (*clamping force*) dalam sambungan. Dalam hal ini yang memiliki peran paling penting ada pada pelat

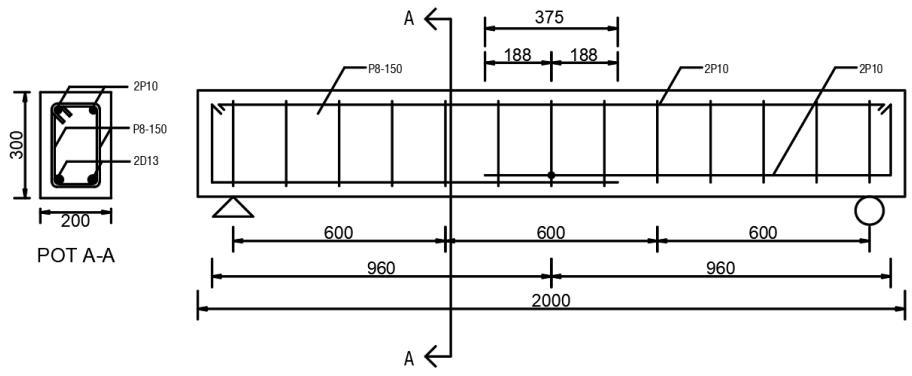
baja dengan tulangan yang menimbulkan gaya gesek. Baut tipe ini dapat bekerja apabila dapat dikencangkan hingga menimbulkan momen torsi dan baut mencapai kondisi prategang tarik. Alat yang dapat digunakan untuk mencapai kondisi tersebut yaitu pengunci torsi (*Torque Wrench*).

d. Perakitan Tulangan

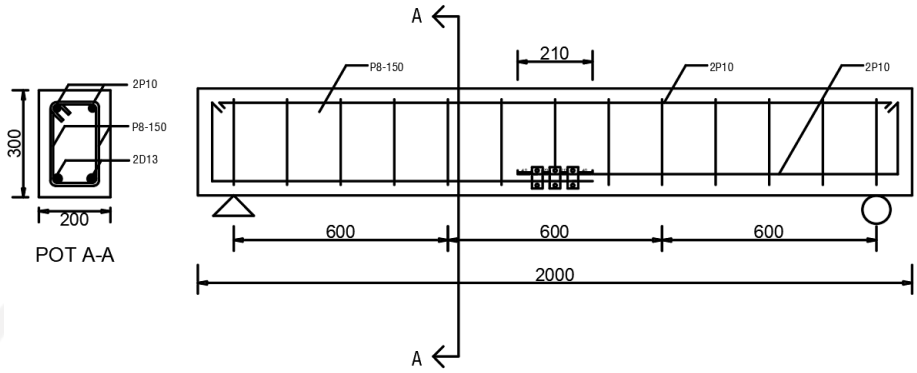
Tulangan yang telah siap serta pembuatan *clamp* sudah sesuai dengan rencana dilanjutkan ke tahap perakitan tulangan. Berikut merupakan gambar rencana tulangan yang digunakan.



Gambar 4.4 Tampak Melintang dan Memanjang Balok Normal



Gambar 4.5 Tampak Melintang dan Memanjang Balok Sambungan Lewatan



Gambar 4.6 Tampak Melintang dan Memanjang Balok Sambungan *Clamp*

e. Pembuatan Bekisting Balok

Bekisting untuk balok menggunakan bahan utama multiplex dengan tebal 9 mm. Selain itu di setiap sisi bekisting diperkuat menggunakan kayu reng tebal 30 mm. Pembuatan bekisting dilakukan di Lab. Inovasi Material Vulkanis UII dibantu oleh pekerja yang berada disana.

2. Tahap II (Pengujian Material)

Pada tahapan ini dilakukan pengujian dan pemeriksaan terhadap bahan yang akan digunakan untuk membuat benda uji, yaitu agregat halus, agregat kasar, tulangan baja, dan sambungan mekanis *clamp*. Pengujian yang dilakukan diantaranya adalah:

a. Pengujian Agregat Halus
   i. Uji Berat Jenis Agregat Halus
   ii. Uji Gradasi Agregat Halus
   iii. Uji Berat Volume Padat/Gembur Agregat Halus
   iv. Uji Kadar Lumpur Agregat Halus

b. Pengujian Agregat Kasar
   i. Uji Berat Jenis Agregat Kasar
   ii. Uji Analisa Saringan Agregat Kasar
   iii. Uji Berat Volume Padat/Gembur Agregat Kasar
   iv. Uji Kadar Lumpur Agegat Kasar

c. Uji Kuat Tarik Baja
    i. Baja Tulangan Normal
    ii. Baja Tulangan Sambungan *Clamp*

3. Tahap III (Mix Design)

   Penentuan rencana percobaan campuran beton (trial mix design) menggunakan acuan SNI 03-2834-2000. Rancangan ini bertujuan agar dapat mengetahui jumlah kebutuhan dari semen, agregat kasar, agregat halus, dan air. Berikut merupakan data rencana campuran beton:

   a. Kuat tekan beton normal rencana 25 MPa
   b. Semen *portland* tipe 1
   c. Tinggi slump yang diisyaratkan 15 cm
   d. Ukuran butir agregat kasar 20 mm.
   e. Damdex 2% dari berat semen.

4. Tahap IV (Pembuatan Benda Uji Utama)

   Tahapan pertama sebelum pembuatan benda uji yaitu membuat bekisting sesuai dimensi balok beton yang telah direncanakan. Kemudian permukaan bagian dalam bekisting perlu dilumasi oleh oli supaya memudahkan pelepasan bekisting pada saat pengecoran selesai. Setelah bekisting selesai disiapkan, dilanjutkan dengan peletakan tulangan baja sesuai yang telah ditentukan. Pembuatan benda uji sebanyak 6 buah balok beton bertulang dengan ukuran 200 x 300 x 2000 mm. Dimana 2 buah balok dengan tulangan tarik 2D13 dan tulangan tekan 2P10 tanpa sambungan dan diikat dengan sengkang sebagai balok control, 2 buah dengan sambungan lewatan, dan 2 buah balok dengan sambungan mekanis *clamp*.

5. Tahap V (Perawatan Benda Uji)

   Setelah 3 hari balok beton dicetak lalu bekisting akan dilepas dan diberi kode. Setelah itu dilanjutkan perawatan benda uji dengan menggunakan karung yang dibasahi setiap harinya selama ± 28 hari.

6. Tahap VI (Pengujian Utama)

   Beberapa pengujian utama dilakukan pada tahapan ini, diantaranya: Uji kuat lentur, uji kuat tekan sampel silinder beton. Pengujian balok beton dilaksanakan menggunakan beban vertikal berupa beban terpusat ganda (*two point loads*).

Untuk pengujian terhadap beton silinder sampel menggunakan mesin *Compression Testing Machine* untuk mengetahui kuat tekan beton.

7. Tahap VII (Analisis Data)
   a. Analisis Kuat Tekan Beton

      Pada analisis kuat tekan ini didapat data berupa durasi pembebanan serta beban maksimum yang nantinya akan diolah menggunakan rumus tegangan tekan beton. Setelah itu, didapat hasil akhir yaitu nilai kuat tekan beton dari seluruh benda uji sampel. Lalu, ketiga nilai tadi di rata-rata kan dan menghasilkan nilai kuat tekan beton yang dapat dipakai untuk benda uji utama balok beton.

   b. Analisis Kuat Lentur Beton

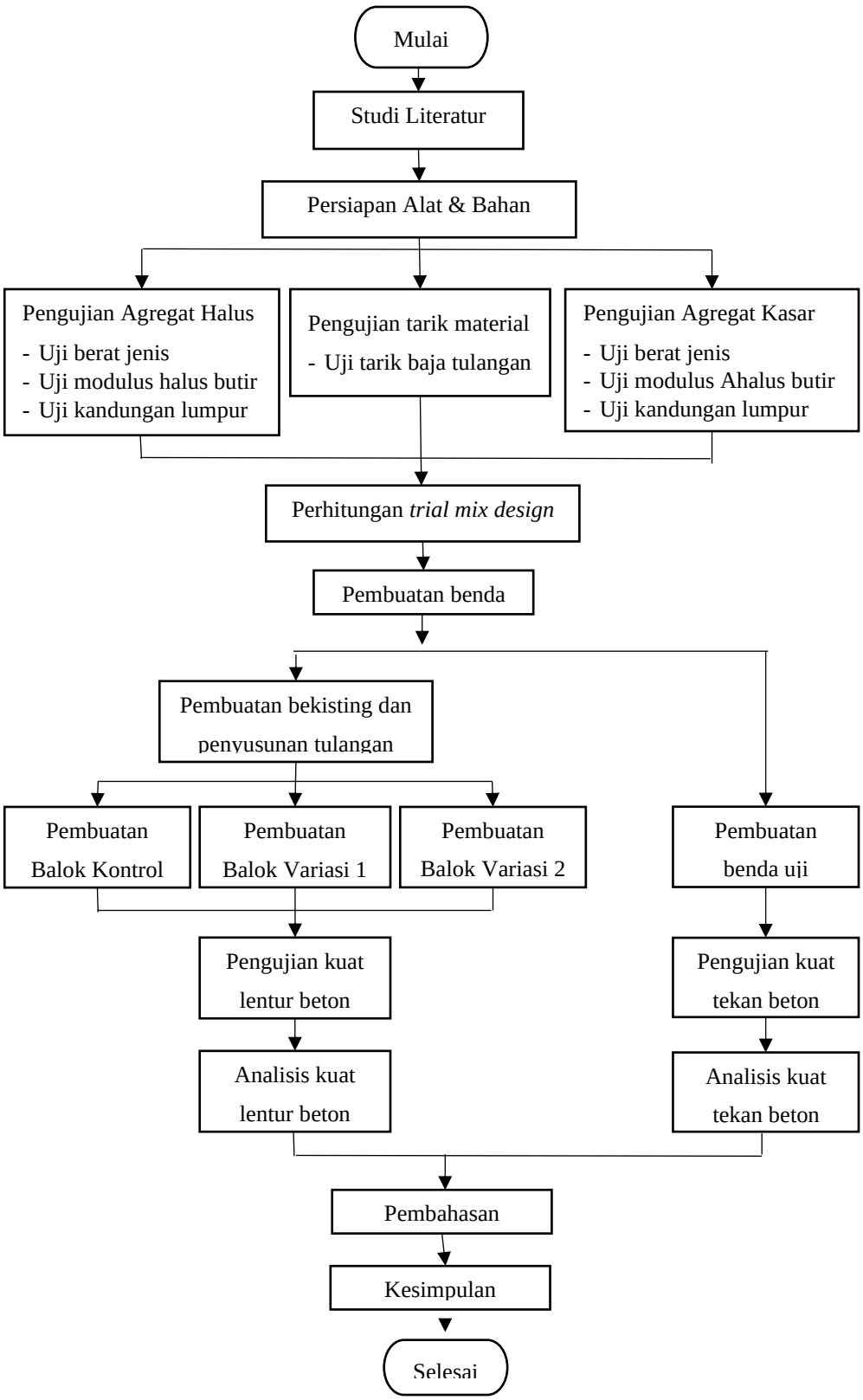
      Setelah dilakukan pengujian benda uji utama, didapatkan data beban maksimum yang diterima oleh tiap-tiap benda uji. Selanjutnya dilakukan analisis menghitung nilai kuat lentur beton.

   c. Analisis Kuat Tarik Baja Tulangan

      Analisis ini bertujuan untuk mendapatkan besaran tegangan leleh dan tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh baja tulangan sehingga dapat dipastikan apakah mutu baja yang digunakan sudah sesuai dengan yang disyaratkan atau belum. Pengujian ini menggunakan *alat Universal Testing Machine* (UTM)

8. Tahap VIII (Penyusunan Laporan)

   Di tahapan ini, seluruh pembahasan serta hasil analisis disusun menjadi sebuah laporan kemudian akan ditarik kesimpulan serta terdapat saran sebagai evaluasi untuk penelitian selanjutnya. Parameter-parameter dibawah ini akan menjadi acuan untuk membandingkan hasil penelitian:



Gambar 4.7 Flowchart Penelitian

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Uji Material

Pengujian material dilakukan untuk mendapatkan karakteristik tiap-tiap material yang akan digunakan nantinya sebagai bahan campuran beton. Hasil dari pengujian material ini perlu dianalisis untuk mengetahui apakah sudah mencapai syarat minimum campuran beton pada SNI 03-2834-2000.

5.1.1 Agregat Halus Pasir Progo

Uji agregat halus yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya uji modulus halus butir, uji berat jenis dan penyerapan, uji berat volume padat/gembur, serta uji kandungan lumpur (uji lolos saringan 200).

1. Uji Berat Jenis dan Penyerapan

Hasil dari pengujian dan analisis berat jenis dan penyerapan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.1 dibawah ini.

Tabel 5.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Uraian		Hasil (gram)
Berat pasir kering mutlak	(Bk)	491.3
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)		500
Berat piknometer berisi pasir dan air	(Bt)	1001
Berat piknometer berisi air	(B)	692
Berat jenis curah	(1)	
Bk / (B + 500 – Bt)		2.5722
Berat jenis jenuh kering muka	(2)	
500/ (B + 500 – Bt)		2.6178
Berat jenis semu	(3)	
Bk / (B + Bk – Bt)		2.695
Penyerapan air, %	(4)	
(500 - Bk) / Bk x 100%		1.771 %

Pengujian ini memperoleh hasil nilai berat jenis kering muka (SSD) agregat halus sebesar 2,617 serta didapatkan nilai rasio penyerapan air sebesar 1.771%. Dari hasil analisis di atas, nilai SSD dapat digunakan untuk perencanaan campuran beton (*mix design*).

2. Uji Modulus Halus Butir

Hasil pengujian serta analisis modulus halus butir agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2 dibawah ini.

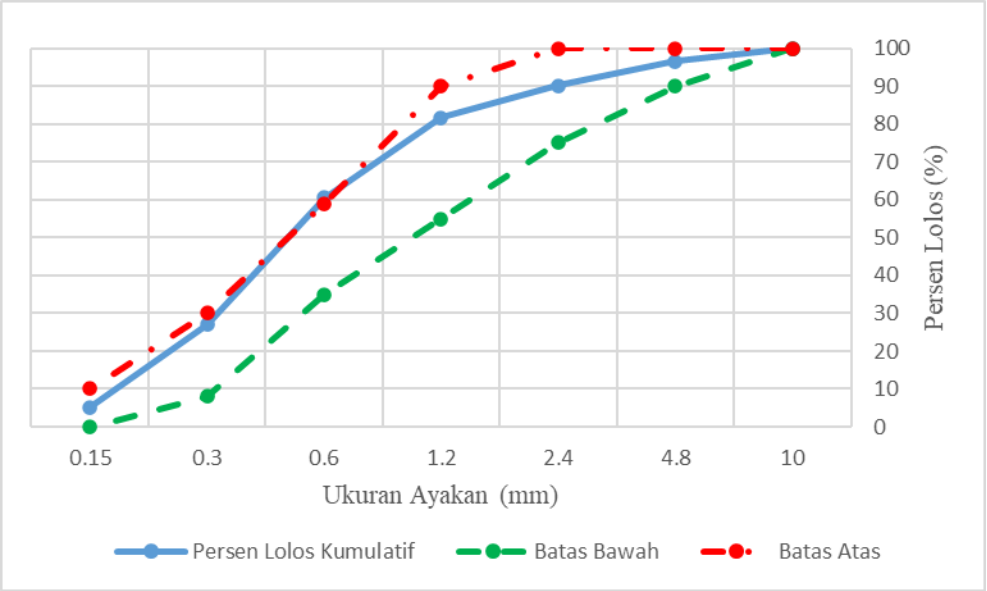
Tabel 5.2 Uji Modulus Halus Butir Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
10	0	0.000000	0.000000	100
4,8	70	3.451677	3.451677	96.54832
2,4	131	6.459566	9.911243	90.08876
1,2	171	8.431953	18.343195	81.6568
0,6	429	21.153846	39.497041	60.50296
0,3	680	33.530572	73.027613	26.97239
0,15	441	21.745562	94.773176	5.226824
Sisa	106	5.226824	100.000000	0
Jumlah	2028	100	239.003945	-

Dari hasil Tabel 5.2 di atas, didapatkan nilai modulus halus butir sebesar :

Modulus Halus Butir (MHB) = $\frac{239.003}{100}$ = 2,39

Uji modulus halus butir ini bertujuan untuk mendapatkan angka gradasi agregat halus. Dari pengujian ini ditetapkan hasil gradasi daerah II sesuai batas minimum yang disyaratkan, serta agregat ini memiliki karakteristik pasir yang cukup kasar. Dari hasil analisis di atas didapatkan kurva gradasi agregat halus pada Gambar 5.1 berikut:



Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus

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

   Berikut merupakan hasil analisis kandungan lumpur agregat halus pada pengujian ini, dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Uji Kandungan Lumpur Agregat Halus

Uraian		Hasil Pengamatan
Berat Agregat Kering Oven	(w1)	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci	(w2)	493
Berat yang lolos ayakan No. 200		1.40%

Hasil analisis dari pengujian ini didapatkan hasil kandungan lumpur pada agregat halus Progo sebesar 1.40%. Angka yang didapatkan telah memenuhi syarat batas maksimal kandungan lumpur yaitu sebesar 5%. Semakin tinggi nilai kandungan lumpur pada agregat dapat membuat ikatan antar agregat tidak maksimal serta dapat menurunkan kualitas beton.

4. Uji Berat Volume

   a. Uji Berat Isi Gembur Agregat Halus

      Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Uji 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/cm^3, nilai tersebut sudah sesuai dengan syarat SNI 03-4804-1998 yang menyebutkan bahwa nilai berat volume gembur disyaratkan antara 1,2-1,7.

b. Uji Berat Isi Padat Agregat Halus

Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.5 dibawah ini.

Tabel 5.5 Uji 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/cm^3, 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 Uji Agregat Kasar

Uji agregat kasar yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya uji modulus halus butir serta uji berat jenis dan penyerapan. Pengujian ini mendapatkan hasil seperti berikut.

1. Uji Berat Jenis dan Penyerapan

   Hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan dapat dilihat pada Tabel 5.6 dibawah ini.

Tabel 5.6 Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Uraian		Hasil (gram)
Berat pasir kering mutlak	(Bk)	4938
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	(Bj)	5000
Berat kerikil dalam air	(Ba)	3112
Berat jenis curah	1	
Bk / (Bj – Ba)		2.615466102
Berat jenis jenuh kering muka	2	
Bj / (Bj – Ba)		2.648305085
Berat jenis semu	3	
Bk / (Bk – Ba)		2.704271632
Penyerapan air, %	4	
(Bj - Bk) / Bk x 100%		1.256%

   Pengujian ini memperoleh hasil nilai berat jenis kering muka (SSD) agregat kasar sebesar 2,648 serta didapatkan nilai rasio penyerapan air sebesar 1.256%. Dari hasil analisis di atas, nilai SSD dapat digunakan untuk perencanaan campuran beton (*mix design*).

2. Uji Modulus Halus Butir

   Hasil pengujian serta analisis modulus halus butir agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.7 dibawah ini.

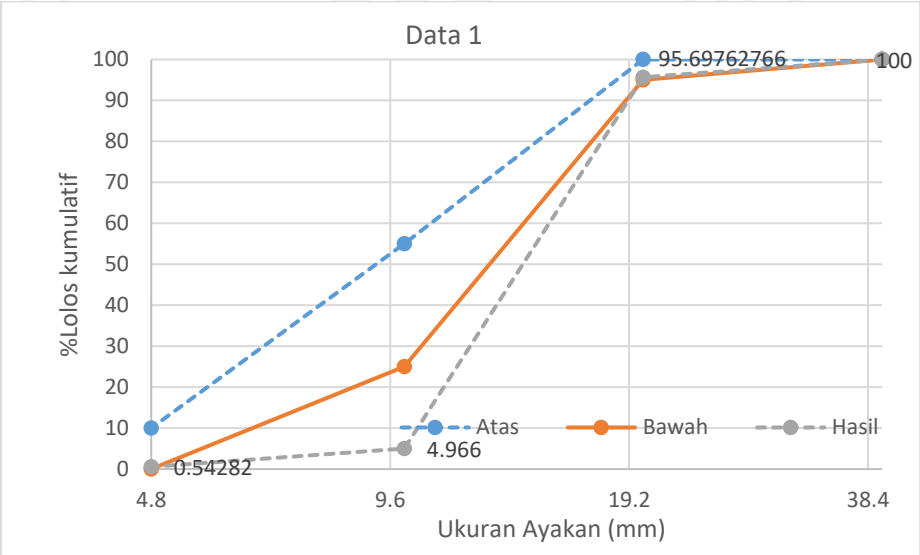
Tabel 5.7 Uji Modulus Halus Butir

Saringan (mm)	Berat tertinggal (gram)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	214	4.30237	4.30237	95.69762766
10	4513	90.73181	95.03418	4.966
4.8	220	4.42300	99.45718	0.54282
2.4	4	0.08042	99.53760	0.46240
1.2	2	0.04021	99.57780	0.42220
0.6	0	0.00000	99.57780	0.42220
0.3	0	0.00000	99.57780	0.42220
0.15	0	0.00000	99.57780	0.42220
sisa	21	0.42220	99.95979	0.04021
jumlah	4974	100	696.64254	203.39767

Dari hasil Tabel 5.5 di atas, didapatkan nilai modulus halus butir sebesar:

Modulus Halus Butir (MHB) = $\frac{696.64}{100}$ = 6,966

Berdasarkan hasil analisis di atas, didapatkan kurva gradasi agregat kasar pada Gambar 5.2 dibawah ini yang telah sesuai dengan SNI-2834-2000.



Gambar 5.2 Grafik Analisis Saringan Agregat Kasar

3. Uji Berat Volume Agregat Kasar

   a. Uji Berat Isi Gembur Agregat Kasar

      Berikut pada Tabel 5.8 merupakan hasil dari pengujian ini.

Tabel 5.8 Uji 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
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 $gram/cm^3$, nilai tersebut sudah sesuai dengan syarat SNI 03-4804-1998 yang menyebutkan bahwa nilai berat volume gembur disyaratkan antara 1,2-1,7.

b. Uji Berat Isi Padat Agregat Kasar

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

Tabel 5.9 Uji Berat Isi Padat Agregat Kasar

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

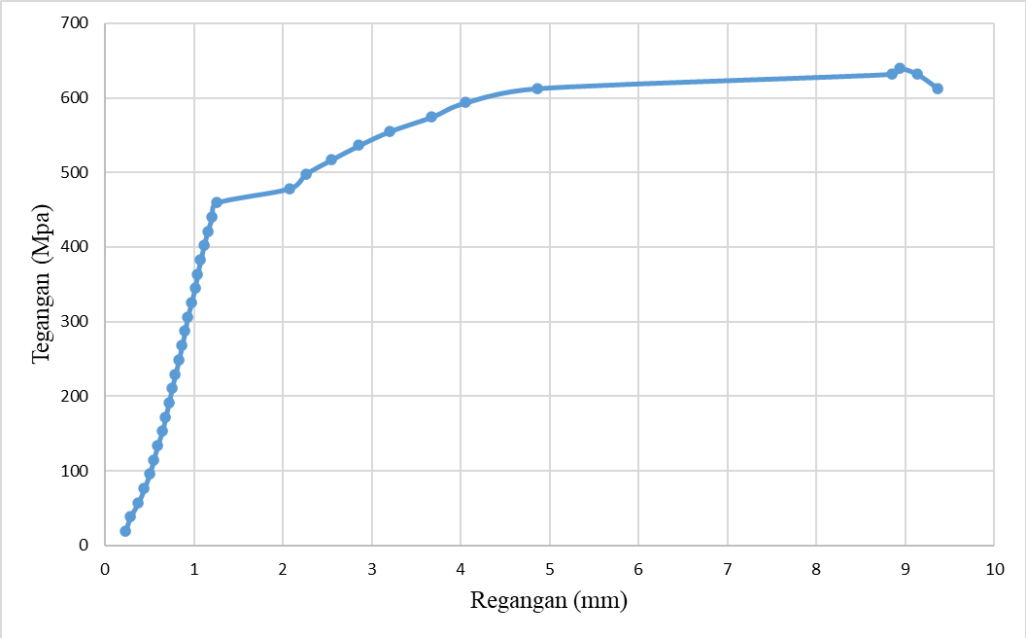
Berdasarkan tabel 5.5. di atas didapatkan hasil berat volume gembur pada agregat kasar sebesar 1,5939 $gram/cm^3$, nilai tersebut sudah sesuai dengan syarat SNI 03-4804-1998 yang menyebutkan bahwa nilai berat volume padat disyaratkan antara 1,2-1,7.

5.1.3 Uji Baja Tulangan

Material baja yang akan digunakan untuk tulangan dalam balok beton perlu dilakukan uji tarik terlebih dahulu. Baja tulangan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan ukuran D13 dan P10.

1. Uji Tarik Baja D13

   Pengujian ini menghasilkan data yang disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.3 berikut.



Gambar 5.3 Kurva Tegangan Regangan Baja D13

Pengujian ini menghasilkan data nilai beban leleh dan beban ultimit yang selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan nilai tegangan leleh dan nilai tegangan ultimit dari baja tulangan D13. Berikut merupakan analisis pengujian tarik tulangan D13.

Diameter = 12,7 mm

Luas = ¼ πd^2

= ¼ π $12{,}7^2$

= 126,67 mm^2

Pu = 8350 kgf

= 8350 × 9,81

= 81913,5 N

Py = 6000 kgf

= 6000 × 9,81

= 58860 N

f_u = P_u / Luas

= 81913,5 / 126,67

= 646.633 Mpa

f_y = P_y / Luas

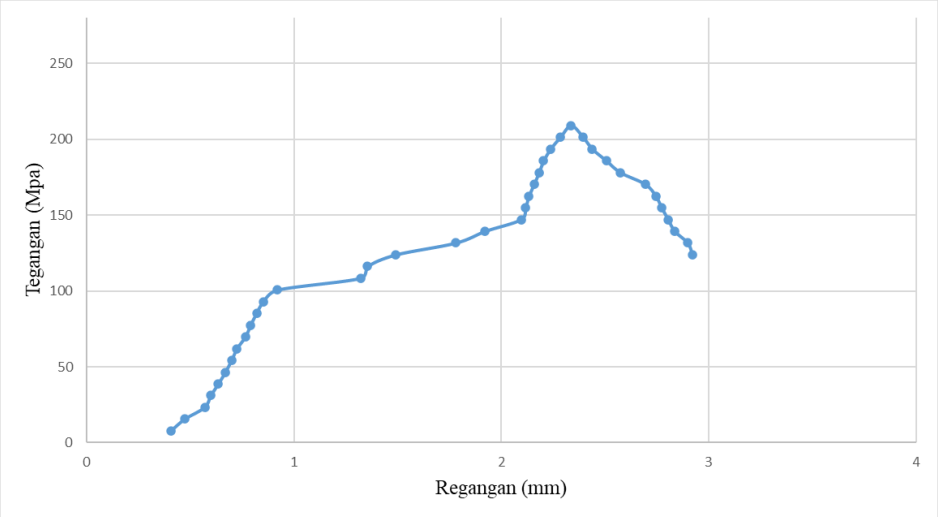
= 58860 / 126,67

= 464.646 Mpa.

Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D13 setelah dianalisis mendapatkan nilai tegangan leleh sebesar 464,646 Mpa dengan beban leleh awal sebesar 58860 N, sedangkan untuk nilai tegangan ultimit sebesar 646,633 Mpa dengan nilai beban maksimal sebesar 81913,5 N. Menurut SNI 2052-2017, dari hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D13 di atas masuk dalam klasifikasi BjTS 420.

2. Uji Tarik Baja D13 Dengan Sambungan *Clamp*

Pada pengujian ini menghasilkan data seperti pada grafik pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Kurva Tegangan Regangan Baja D13 dengan Sambungan Tulangan

Pengujian ini menghasilkan data nilai beban leleh dan beban ultimit yang selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan nilai tegangan leleh dan nilai tegangan ultimit dari baja tulangan D13 dengan sambungan *clamp*. Berikut merupakan analisis pengujian tarik.

Diameter = 12,7 mm

Luas = ¼ πd^2

= ¼ π $12,7^2$

= 126,67 mm^2

Pu = 2700 kgf

= 2700 × 9,81

= 26487 N

Py = 1300 kgf

= 1300 × 9,81

= 12753 N

f_u = P_u / Luas

= 26487 / 126,67

= 209.091 Mpa

f_y = P_y / Luas

= 12753 / 126,67

= 100.673 Mpa.

Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D13 dengan sambungan *clamp* mendapatkan nilai tegangan leleh sebesar 100,673 Mpa dengan beban leleh maksimal 12753 N serta nilai tarik maksimum yang didapat sebesar 209,091 Mpa. Dari hasil analisis di atas, baja tulangan dengan sambungan *clamp* memiliki nilai tegangan leleh dan tegangan maksimal yang lebih kecil dari baja tulangan D13 normal. Hasil pengujian ini berbeda dengan penelitian Ginting (2014), dalam penelitiannya kuat leleh yang diperoleh dalam sambungan tulangan D13 dengan 3 buah *clamp* sebesar 471,46 Mpa sedangkan kuat tarik masimum sebesar 530,66 Mpa. Terdapat beberapa kemungkinan yang menyebabkan perbedaan yang signifikan dengan penelitian sebelumnya, salah satunya ialah penggunaan *torque wrench* yang tidak maksimal. Dalam penelitian

Ginting, penggunaan pengunci torsi telah ditetapkan kekencangan baut sebesar 25 lbft dan telah mengikuti *tabel eqivalensi* sesuai dengan diameter baut. Sedangkan, dalam penelitian ini penulis menggunakan alat pengunci torsi dengan skala yang lebih besar, sehingga tidak sesuai dengan yang telah ditentukan. Selain itu, pada saat pengujian dilakukan terdapat miskomunikasi dengan penguji di laboratorium yang menyebabkan performa *clamp* tidak diuji secara maksimal.



Gambar 5.5 Pengujian Tarik Sambungan *Clamp*.



Gambar 5.6 Kondisi *Clamp* Setelah Pengujian.

Kerusakan yang terjadi pada sambungan dengan menggunakan sambungan clamp terletak pada ulir baja tulangan D13 serta permukaan clamp yang bersentuhan langsung dengan tulangan. Hal ini terjadi karena yang bekerja keras menahan kuat tarik merupakan permukaan clamp dengan ulir dari baja tulangan yang mengakibatkan permukaannya terkikis.

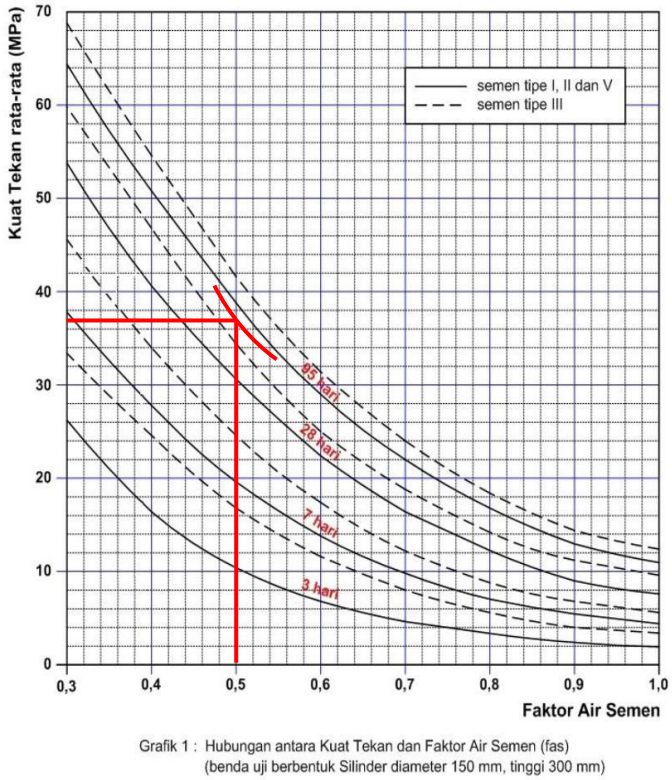
5.2 Analisis Proporsi Campuran Beton

Dalam penelitian ini penulis menetapkan kuat tekan beton rencana sebesar 25 MPa dengan menggunakan acuan SNI 03-2834-2000. Benda uji yang akan digunakan untuk uji kuat tekan memiliki bentuk silinder yang diambil 1 sampel dari setiap proporsi *mix design* benda uji utama. Dibawah ini merupakan perhitungan *mix design* yang digunakan.

1. Kuat tekan rencana (f'c) dengan benda uji silinder sebesar 25 MPa.
2. Semen yang digunakan merupakan semen PCC dengan merk Tiga Roda.
3. Agregat kasar yang digunakan menurut hasil uji analisis saringan memiliki ukuran maksimal 20 mm.
4. Agregat halus yang digunakan termasuk ke dalam daerah gradasi 2.
5. Benda uji silinder memiliki jumlah 8 buah sesuai jumlah benda uji utama dan kurang dari 15 sampel. Menurut Tabel 3.4, bila jumlah benda uji kurang dari 15 maka menggunakan nilai tambah kuat tekan rencana sebesar 12 MPa.
6. Perhitungan kuat tekan rencana yang telah disesuaikan telah dijabarkan dibawah ini.

   $f_{cr} = 25 + 12$

   $= 37$ MPa
7. Menetapkan faktor air semen (FAS)
   a. Menurut Tabel 3.5, pada penggunaan semen Portland tipe I serta agregat kasar berbentuk batu pecah, saat umur beton 28 hari diketahui mendapatkan nilai kekuatan tekan beton sebesar 37 MPa pada benda uji silinder.
   b. Faktor air semen didapat dengan menganalisis grafik yang telah ditentukan pada Gambar 3.15. Untuk f_{cr} = 37 MPa penentuan nilai FAS dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut ini.



Gambar 5.7 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan FAS

Berdasarkan grafik di atas didapatkan nilai FAS sebesar 0,5. Selain itu, nilai FAS juga harus memenuhi persyaratan pada Tabel 3.7, karena beton diletakkan diluar ruangan yang terhindar dari hujan serta terik matahari langsung maka didapatkan nilai FAS maksimum sebesar 0,6. Pada penelitian ini penulis menggunakan nilai FAS yang terkecil, yaitu 0,5.

8. Nilai *slump* rencana beton berada di kisaran 60-180 mm, penulis menetapkan 70-150 mm.
9. Nilai kadar air bebas ditentukan melalui Tabel 3.6, dengan ukuran agregat kasar maksimum sebesar 20 mm berbentuk batu pecah dan nilai slump 60 – 180 mm, didapatkan nilai kadar air bebas sejumlah 205 kg/m^3.
10. Perhitungan jumlah semen setiap 1 m^3 beton.
    a. Kadar semen ditentukan melalui persamaan 3.22 seperti dibawah ini.

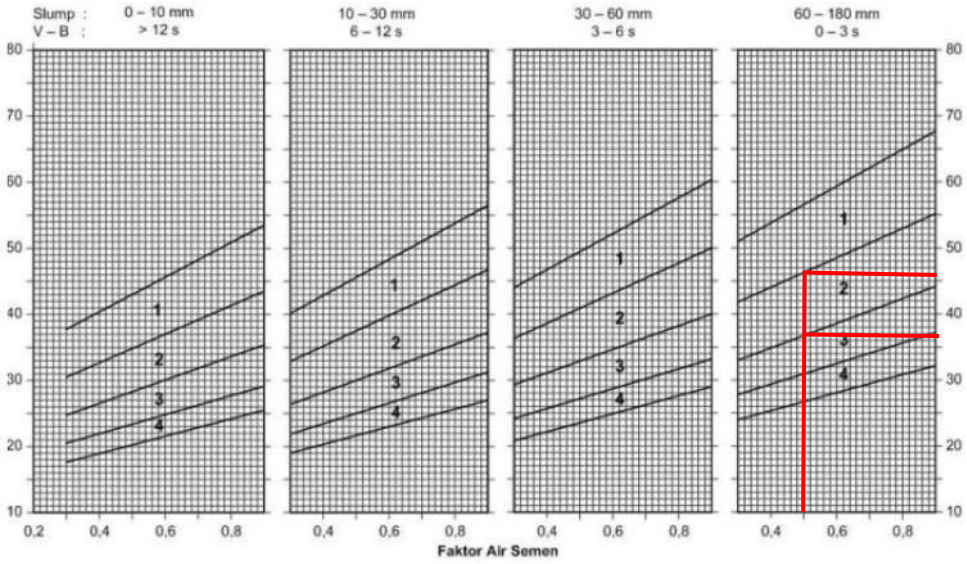
$$\text{Kadar semen} = \frac{205}{0{,}5}$$

$$= 410 \text{ kg/m}^3$$

b. Menurut Tabel 3.7 pada benda uji yang disimpan di luar ruangan tetapi terlindung dari hujan serta terik matahari langsung ditetapkan jumlah semen minimum per m^3 beton sejumlah 275 kg/m^3.

Berdasarkan dua ketentuan di atas, penulis menggunakan nilai kadar semen 410 kg/m^3 untuk masuk ke tahap perhitungan selanjutnya.

11. Presentase agregat halus ditetapkan menurut Gambar 3.16. Dengan menggunakan kisaran nilai slump sejumlah 60 – 180 mm dan butiran agregat halus yang terdapat pada daerah gradasi 2, ditetapkan nilai presentase seperti Gambar 5.6 berikut ini.



Gambar 5.8 Grafik Presentase Agregat Halus

Agregat Halus $= \frac{37+46}{2} \times 100\%$

$= 41{,}5\%$

Agregat Kasar $= 100\% - 41{,}5\%$

$= 58{,}5\%$

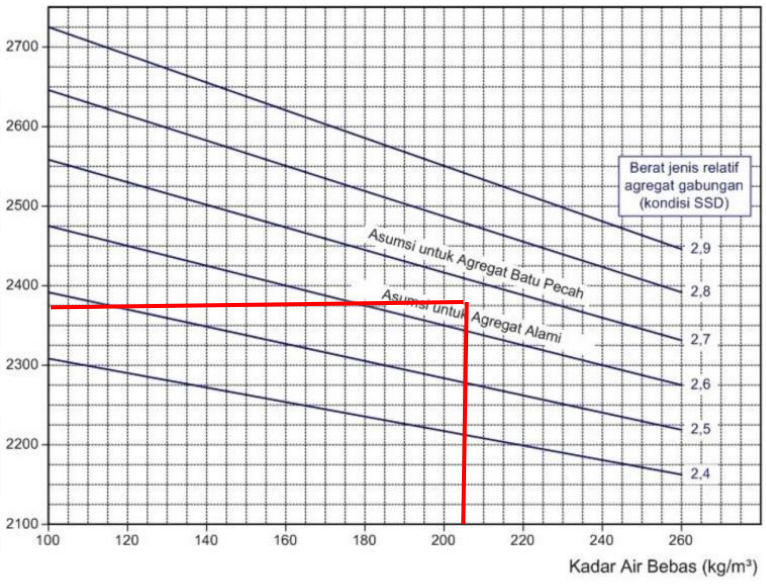
12. Pada saat pengujian material didapatkan berat jenis agregat halus sejumlah 2,617 gram/cm^3 dan berat jenis agregat kasar sejumlah 2,648 gram/cm^3.

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

$= \left(\frac{41{,}5\%}{100} \times 2{,}617\right) + (\frac{58{,}5\%}{100} \times 2{,}648)$

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

13. Dalam Grafik pada Gambar 3.17 melihat dari nilai kadar air bebas sebesar 205 kg/m^3 dan berat jenis agregat gabungan 2,64 gram/cm^3, didapatkan nilai berat isi beton basah yang dipadatkan seperti yang tertera pada Gambar 5.7 dibawah ini.



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

Gambar 5.9 Grafik Berat Isi Beton

Menurut grafik di atas, ditentukan nilai berat isi beton sebesar 2375 kg/m^3.

14. Perhitungan proporsi campuran beton pada tiap-tiap material.
    a. Kadar agregat gabungan = berat isi beton – kadar semen – kadar air bebas
       = 2375 – 410 – 205
       = 1760 kg/m^3
    b. Kadar agregat halus $= \frac{\%AH}{100} \times$ kadar agregat gabungan
       $= \frac{41{,}5\%}{100} \times 1760$
       = 730,4 kg/m^3
    c. Kadar agregat kasar $= \frac{\%AK}{100} \times$ kadar agregat gabungan

$$= \frac{58{,}5\%}{100} \times 1760$$

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

15. Berdasarkan analisis perhitungan sebelumnya, didapatkan susunan proporsi dalam 1 m^3 beton seperti dibawah ini.
    a. Semen = 410 kg
    b. Air = 205 kg
    c. Agregat Halus = 731 kg
    d. Agregat Kasar = 1030 kg
16. Dalam penentuan komposisi campuran beton tiap-tiap benda uji diperlukan perhitungan volume.

    Volume silinder (d= 0,15 m, h= 0,3 m) $= ¼ \times d^2 \times h$

    $= ¼ \times 0{,}15^2 \times 0{,}3$

    $= 0{,}0053 \text{ m}^3$

    Volume balok (l= 2 m, b= 0,2 m, h= 0,3 m) $= l \times b \times h$

    $= 2 \times 0{,}2 \times 0{,}3$

    $= 0{,}12 \text{ m}^3$
17. Hasil dari analisis campuran beton memerlukan penambahan nilai penyusutan, hal ini dikarenakan adanya faktor lain yang membuat campuran beton dapat berkurang tidak sesuai porsi awal. Dalam penelitian ini penulis menggunakan nilai penyusutan sebesar 20%. Dengan menggunakan benda uji silinder yang memiliki volume 0,0053 m^3 dan benda uji balok dengan volume 0,12 m^3, proporsi campuran yang diperlukan adalah sebagai berikut.

    Material = proporsi/m^3 × nilai penyusutan × volume

    a. Proporsi benda uji silinder
        i. Semen = 410 × 120% × 0,0053

           = 2,608 kg
        ii. Air = 205 × 120% × 0,053

           = 1,304 kg
        iii. Agregat Halus = 731 × 120% × 0,053

           = 4,650 kg
        iv. Agregat Kasar = 1030 × 120% × 0,053

= 6,552 kg

b. Proporsi benda uji balok

i. Semen = 410 × 120% × 0,12
= 59,04 kg

ii. Air = 205 × 120% × 0,12
= 29,52 kg

iii. Agregat Halus = 731 × 120% × 0,12
= 105,264 kg

iv. Agregat Kasar = 1030 × 120% × 0,12
= 148,32 kg

5.3 Analisis Data *Mix Design*

Pada penelitian ini benda uji utama yaitu balok beton bertulang berjumlah 3 buah dengan tambahan 1 sampel beton silinder pada tiap 1 campuran mixer. Setelah umur beton memenuhi masa *curing* dilanjutkan ke tahap pengujian menggunakan alat mesin uji tekan (*compression testing machine*). Pengujian ini diperlukan untuk mengetahui apakah nilai kuat tekan yang telah direncanakan sesuai dengan *mix design* yang telah dibuat. Pada Gambar 5.8 berikut merupakan dokumentasi dari pengujian sampel silinder beton.



Gambar 5.10 Uji Mix Design Silinder Beton

Dibawah ini Tabel 5.10 merupakan hasil analisis dari pengujian kuat tekan benda uji silinder.

Tabel 5.10 Pengujian *Mix Design*

Variasi Beton	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm2)	Beban Maks. (kN)	Kuat Tekan (Mpa)
Normal 1	150,8	299,6	17860,457	595	33,314
Lewatan 1	149,7	299,4	17600,844	555	31,532
Clamp 1	149,1	302,3	17460,037	570	32,645

Berikut merupakan contoh perhitungan kuat tekan silinder beton.

1. Diketahui : diameter (d) = 150,8 mm
2. A $= ¼ \times \pi \times d^2$
   $= ¼ \times \pi \times 150,8$
   $= 17860,457\ mm^2$

P = 595 kN
= 595000 N

$f'_c = \frac{P}{A}$
$= \frac{595000}{17860,457}$
= 33,314 MPa

Berdasarkan pengujian kuat tekan pada benda uji silinder di atas, setelah dilakukan perhitungan didapatkan nilai kuat tekan (f'_c) silinder beton rata-rata sebesar 31,592 MPa. Sedangkan rencana kuat tekan beton sebesar 25 MPa, dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa *mix design* sesuai dengan yang direncanakan.

5.4 Sambungan Tulangan Pada Balok

5.4.1 Sambungan Lewatan

Perhitungan panjang penyaluran sambungan tulangan berdasar pada SNI 2847:2019,

Diketahui :

Fy = 280 MPa

F'c = 25 MPa

λ = 1 (Beton Normal)

Ψe = 1 (Tidak Menggunakan Epoksi)

Ψt = 1 (Lainnya)

Ψs = 0,8 (Tulangan Lebih Kecil Dari D19)

Db = 13

Ktr = 0

1. Pasal 25.4.2.2

$$\ell d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2{,}1\lambda\sqrt{f_c'}}\right) d_b$$

$$= \left(\frac{280 \times 1 \times 1}{2{,}1 \times \lambda \times \sqrt{25}}\right) \times 13$$

$$= 346{,}667 \text{ mm}$$

2. Pasal 25.4.2.3

$$\ell d = \left(\frac{f_y}{1{,}1\lambda\sqrt{f_c'}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)}\right) d_b$$

$$= \left(\frac{280}{1{,}1 \times \lambda \times \sqrt{25}} \frac{1 \times 1 \times 0{,}8}{\left(\frac{54 + 0}{13}\right)}\right) \times 13$$

$$= 245{,}117 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran sambungan lewatan yang akan digunakan dalam penelitian ini mengikuti SNI 2847-2019 seperti yang tertera pada perhitungan di atas. Setelah dilakukan analisis perhitungan didapatkan nilai sebesar 346,667 mm untuk spesifikasi beton dengan f'c 25 Mpa serta kuat leleh baja tulangan sebesar 280 Mpa. Hasil analisis perhitungan tersebut kemudian dilakukan pembulatan sehingga nilai panjang penyaluran yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 430 mm. Namun dikarenakan adanya kesalahan dalam perkiraan kuat leleh baja tulangan yang seharusnya mengacu pada BjTS 420, nilai panjang penyaluran berubah menjadi sebesar 520 mm. Sedangkan penyaluran yang telah terpasang pada tulangan sebesar 430, sehingga hal ini dapat menyebabkan hasil pengujian kuat lentur yang tidak maksimal pada balok dengan sambungan lewatan.

5.5 Analisis Tulangan Rangkap

Berikut merupakan langkah-langkah perhitungan analisis tulangan rangkap yang digunakan dalam penelitian ini.

Diketahui:

B = 200 mm

H = 300 mm

Sb = 40 mm

f'c = 33,313 MPa

fy = 464,6 MPa

Es = 200000

Ey = fy / Es

= 464,6 / 200000

= 0,00232

1. Titik Berat Tulangan Tarik

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

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

   = 54,5 mm

   d = h – ds

   = 300 – 54,5

   = 245,5 mm

2. Titik Berat Tulangan Tekan

   d' = $sb + \phi_s + (0{,}5 \times \phi_p)$

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

   = 53

3. As Tekan dan As Tarik

   As' Tekan = $2 \times ¼ \times \pi \times \phi_p{}^2$

   = $2 \times ¼ \times \pi \times 10^2$

   = 157,079 mm^2

   As Tarik = $2 \times ¼ \times \pi \times \phi_p{}^2$

   = $2 \times ¼ \times \pi \times 12{,}7^2$

   = 265,464 mm^2

4. Diasumsikan As’ telah leleh.

   $\Sigma H = 0$

   $Cs + Cc – Ts = 0$

   $(0,85 \times fc' \times a \times b) + (fy + As') – (As \times fy) = 0$

   $a = ((As \times fy) – (As' \times fy)) / (0,85 \times fc' \times b)$

   $= ((265,464 \times 464,6) - (157,028 \times 280) / (0,85 \times 33,314 \times 200)$

   $= 8,891$

   $E_{cs} = ((a – d' \times \beta_1)/a) \times 0,003$

   $= ((8,891 - 53 \times 0,82)/8,891) \times 0,003$

   $= -0,011 < Ey = 0,0023$ (belum leleh)

5. Blok tekan yang sesungguhnya

   $(0,85 \times fc' \times b) \times a^2 + (E \times 0,003 \times As' - As \times fy) \times a - E \times 0,003 \times As' \times \beta_1 \times d' = 0$

   $(0,85 \times 33,314 \times 200) \times a^2 + (200000 \times 0,003 \times 157,028 – 265,464 \times 464,6) \times a – (200000 \times 0,003 \times 157,078 \times 0,82 \times 53) = 0$

   $5663,38a^2 – 29087,06a – 4096008,502 = 0$

   $a1 = -24,447$ mm

   $a2 = 29,583$ mm (a pakai)

6. Regangan tarik baja.

   $Dt = H – d$

   $= 300 – 53$

   $= 247$ mm

   $Et = ((\beta_1 \times dt – a)/a \times 0,003$

   $= ((0,82 \times 247 – 29,583)/29,583 \times 0,003$

   $= 0,0179 > 0,005$ (Terkontrol Tarik)

7. Kapasitas Momen Tulangan

   $Fs = (Es \times ((a – d' \times \beta_1)/a) \times 0,003$

   $= (200000 \times ((29,583 – 53 \times 0,82)/29,582) \times 0,003$

   $= -281,452$ Nmm

   $Mn = Mn_1 + Mn_2$

   $Mn_1 = (0,85 \times fc' \times a \times b \times (d- ½ \times a)$

   $= (0,85 \times 33,314 \times 29,582 \times 200 \times (245,5 – 29,582/2)$

= 38652849,15 Nmm

Mn_2 = (Fs × As' × (d – ½ a)

= (-281,452 × 157,079 × (245,5 – ½ × 29,583)

= -8510503,13 Nmm

Mn = 38652849,15 + -8510503,13

= 30142346,02 Nmm

= 30,142 kNm

Φ Mn = 30,142 × 0,9

= 27,128 kNm.

Setelah dilakukan analisis untuk tulangan rangkap setiap variasi balok sesuai dengan spesifikasinya, berikut merupakan rekapitulasi perhitungan pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Analisis Tulangan Rangkap

Kode Balok	Mn (kNm)
Normal	30,142
Clamp	29,911
Lewatan	30,057

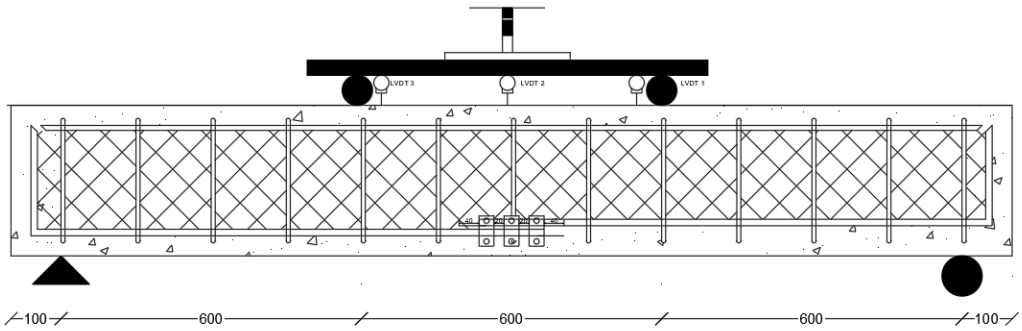
5.6 Pengujian Kuat Lentur Balok

5.6.1 Mekanisme Pembebanan

Dalam pengujian kuat lentur ini pembebanan dilakukan sesuai dengan SNI 4431:2011 yaitu dengan pembebanan dua titik. Titik beban ditempatkan menjadi 2 beban terpusat dengan jarak 1/3 bentang dan pembebanan dilakukan secara bertahap hingga mencapai beban maksimum yang dapat ditahan dan terjadi keruntuhan pada balok. Pada Gambar 5.9 dan 5.10 dibawah ini merupakan mekanisme pembebanan pada saat pengujian.



Gambar 5.11 Pembebanan Benda Uji Balok



Gambar 5.12 Detail Pembebanan Benda Uji Balok

Dalam pengujian kuat lentur yang dilakukan, dipasang dial gauge berjumlah 3 buah yang letaknya berada di daerah pembebanan. Dial gauge 1 dan 3 terletak persis dibawah beban dan dial gauge 2 berada di tengah balok yang bertujuan untuk mengetahui besaran lendutan pada balok.

5.6.2 Analisis Hasil Pengujian Kuat Lentur

Kuat lentur balok didapatkan melalui rumus berikut ini.

$$Mn\ Percobaan = \frac{1}{2} \times P \times a + Mw$$

Untuk dapat mengetahui kuat lentur dari beban ultimit yang didapat, perlu mengetahui berat balok (W). Berat balok dapat diketahui melalui massa jenis balok (γ_c) dikali dengan volume balok (V). Contoh perhitungan berat balok seperti dibawah ini:

$W = \gamma_c \times V$

$= 24 \times (0{,}2 \times 0{,}3 \times 2)$

$= 2{,}880$ KN

Berat balok dapat berpengaruh terhadap gaya yang bekerja pada balok (Q_{dl}). Untuk menghitung gaya berat balok (Q_{dl}) dapat dengan membagi berat balok dengan panjang bentang balok (L) seperti contoh perhitungan dibawah ini:

$Q_{dl} = W / L$

$= 2{,}880 / 2$

$= 1{,}440$ KN/m

Setelah mendapatkan nilai gaya berat balok, momen akibat berat balok dapat diperoleh melalui rumus dibawah ini:

$M_w = (1/8) \times Q_{dl} \times L^2$

$= (1/8) \times 1{,}44 \times 2^2$

$= 0{,}72$ KNm

Dari hasil perhitungan di atas, kuat lentur balok dapat dihitung dengan rumus berikut:

Mn Percobaan $= (1/2) \times P \times a + M_w$

$= (1/2) \times 132{,}5 \times 0{,}6 + 0{,}72$

$= 40{,}47$ KNm

Berdasarkan hasil perhitungan sesuai rumus di atas, berikut pada Tabel 5.12 merupakan rekapitulasi masing-masing kuat lentur balok.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Perhitungan Mn Percobaan

Kode Balok	Pmaks (kN)	Lengan Beban (m)	Mw (kNm)	Mn Percobaan (kNm)
Normal	132,5	0,6	0,72	40,47
Clamp	134,8	0,6	0,72	41,16
Lewatan	137,8	0,6	0,72	42,06

Berdasarkan analisis perhitungan di atas, hasil pengujian kuat lentur memiliki nilai yang beragam. Untuk balok normal memiliki nilai kuat lentur rata-rata sebesar 40,47 kNm, balok *clamp* dengan rata-rata 41,16 kNm, serta nilai kuat lentur

tertinggi berhasil dicapai oleh balok dengan sambungan tulangan lewatan dengan nilai 42,06 kNm.

Pengujian ini menghasilkan nilai kuat lentur panjang lewatan yang kurang memuaskan. Menurut penelitian Teguh, Mahlisani (2014) balok beton bertulang dengan sambungan lewatan 40D mendapatkan hasil peningkatan beban kuat lentur hingga 21,54% dari balok normalnya. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan penulis hanya terdapat peningkatan sebesar 3,92% dari balok normalnya. Hal ini disebabkan oleh kesalahan penulis dalam analisis perhitungan panjang penyaluran sehingga seharusnya penyaluran yang diterapkan adalah 520 mm namun hanya diterapkan 430 mm. Dari hasil pengujian ini, meskipun hasil kuat lentur balok dengan sambungan lewatan tidak maksimal namun masih mengungguli balok dengan sambungan mekanis *clamp* sebesar 2,18% dan balok normal sebesar 3,92%.

Berdasarkan pembahasan di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa hasil kuat lentur balok dengan sambungan lewatan belum maksimal. Sehingga, apabila dalam analisis pelaksanaannya sambungan lewatan telah memenuhi standar, maka perbandingan dengan balok sambungan *clamp* semakin signifikan. Artinya, secara perbandingan kuat lentur balok dengan sambungan *clamp* belum mampu untuk menggantikan balok sambungan lewatan.

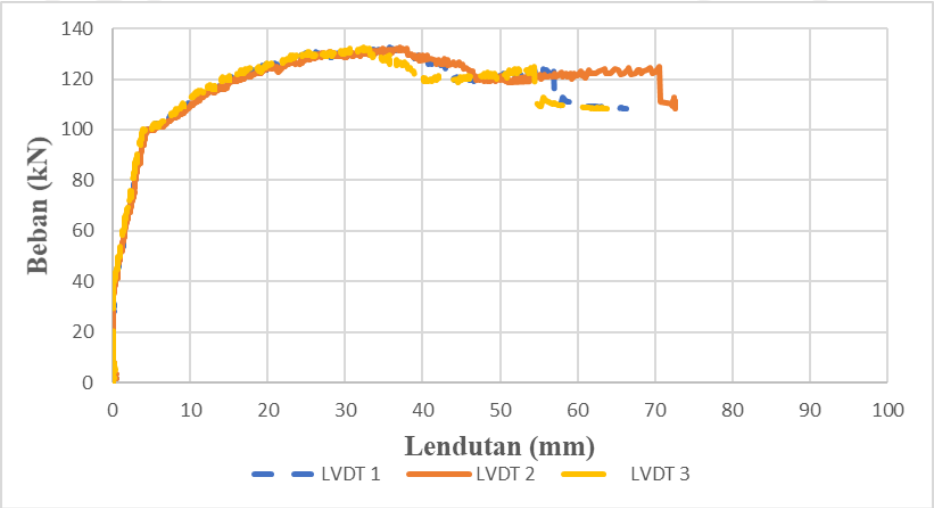
Tabel 5.13 Rasio Perbandingan Mn Percobaan & Mn Teoritis

Kode Balok	Pmaks (kN)	Mn Teoritis	Mn Percobaan (kNm)	Rasio Perbandingan
Normal	132,5	30,142	40,47	1,343
Clamp	134,8	29,911	41,16	1,376
Lewatan	137,8	30,057	42,06	1,399

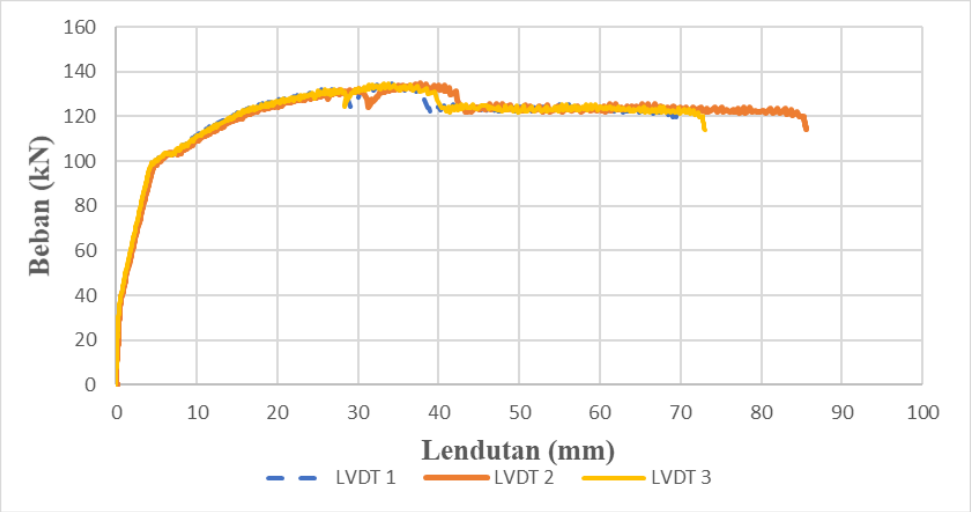
Perbandingan nilai kuat lentur secara teoritis menggunakan analisis tulangan rangkap dengan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.13. Berdasarkan analisis, didapatkan rasio perbandingan rata-rata sebesar 1,373 antara Mn Percobaan dengan Mn Teoritis, dengan hasil kuat lentur secara pengujian memiliki nilai yang lebih besar.

5.7 Respon Balok Beton Terhadap Beban dan Lendutan

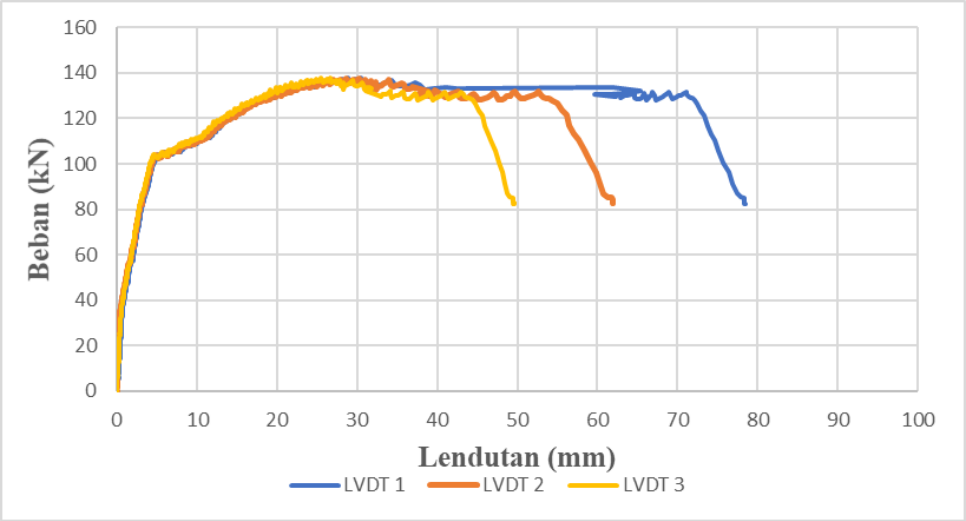
Benda uji balok yang akan diuji sebelumnya dipasangkan tiga buah LVDT dimana perletakannya sesuai dengan Gambar 5.9, yaitu LVDT 1 dan 3 diletakkan untuk mengetahui defleksi vertikal dibawah titik beban dan LVDT 2 terletak di tengah bentang balok untuk menjadi indikator utama defleksi vertikal balok. Untuk lebih melihat respon balok terhadap beban dan lendutan secara jelas, dapat melihat grafik yang tersedia dalam Gambar 5.11, 5.12, 5.13 dibawah ini.



Gambar 5.13 Beban vs Lendutan Balok Normal

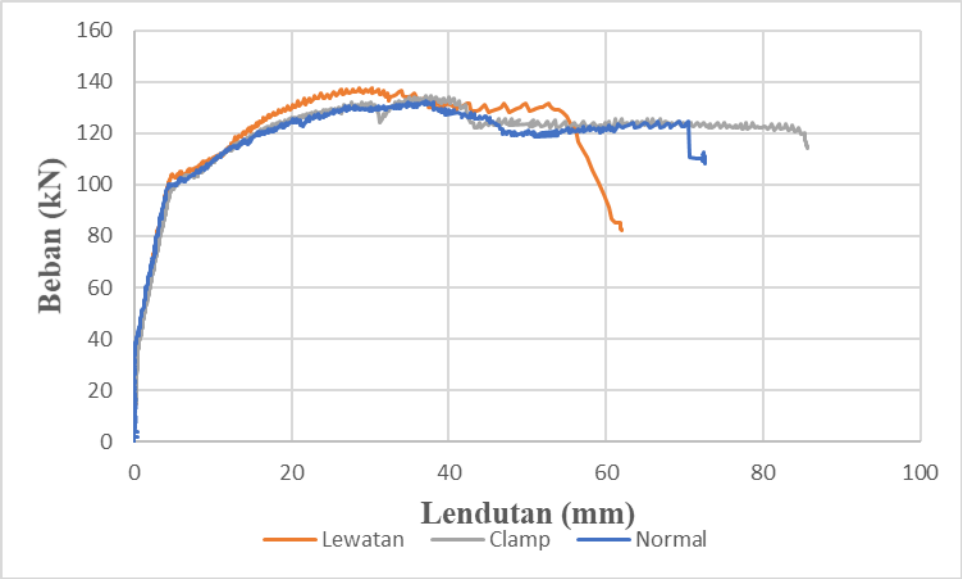


Gambar 5.14 Beban vs Lendutan Balok Clamp



Gambar 5.15 Beban vs Lendutan Balok Lewatan

Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa balok sambungan lewatan mendapatkan kekuatan beban tertinggi dengan beban maksimum sebesar 137,844 kN dan lendutan maksimum sebesar 78,44 mm. Dibandingkan dengan balok sambungan *clamp* dan balok normal memiliki nilai kuat lentur yang cenderung sama yaitu 132,552 kN dan 134,82 kN yang artinya memiliki kekuatan serta daktilitas yang sama. Namun melihat perbandingan nilai lendutan, balok dengan sambungan mekanis *clamp* memiliki nilai yang lebih baik sebesar 85,592 mm disusul dengan balok sambungan lewatan, lalu balok normal dengan nilai 72,6 mm. Hal ini membuktikan bahwa balok dengan sambungan mekanis *clamp* memiliki lendutan yang lebih baik.



Gambar 5.16 Perbandingan Beban vs Lendutan Setiap Balok

Pada Gambar 5.14 menampilkan perbandingan respon balok terhadap beban dan lendutan semua sampel balok dan terlihat bagaimana kinerja lentur setiap spesimen balok. Pada tahap awal pembebanan, setiap spesimen balok memiliki kecenderungan yang sama yaitu konsisten dalam kenaikan beban hingga mencapai ultimitnya. Namun setelah mencapai beban maksimum, setiap balok memiliki kinerja lentur yang berbeda beda. Pada balok normal setelah mencapai beban ultimitnya mengalami penurunan secara bertahap hingga 120 kN, kemudian beban cenderung stabil hingga akhirnya balok patah pada beban 124 kN. Sedangkan pada balok dengan sambungan lewatan setelah mencapai beban ultimitnya mengalami penurunan yang tidak stabil dan melendut hingga 52,554 mm kemudian beban menurun secara drastis hingga mengalami patah pada lendutan akhir 78,445 mm.

Hasil pengujian balok dengan sambungan lewatan pada penelitian ini tidak maksimal, menurut Sulastri (2020) apabila analisis penyaluran sambungan lewatan dilakukan dengan benar maka balok dapat berfungsi dengan baik menyalurkan gaya pada tulangan dan penempatan sambungan yang tepat dapat meningkatkan kapasitas balok. Untuk balok dengan sambungan *clamp* setelah mencapai beban ultimitnya mengalami penurunan hingga 122 kN dan cenderung stabil melendut hingga 85,592 mm kemudian balok patah. Dalam kasus ini, balok dengan sambungan *clamp* memiliki lendutan yang lebih baik dibandingkan dengan balok

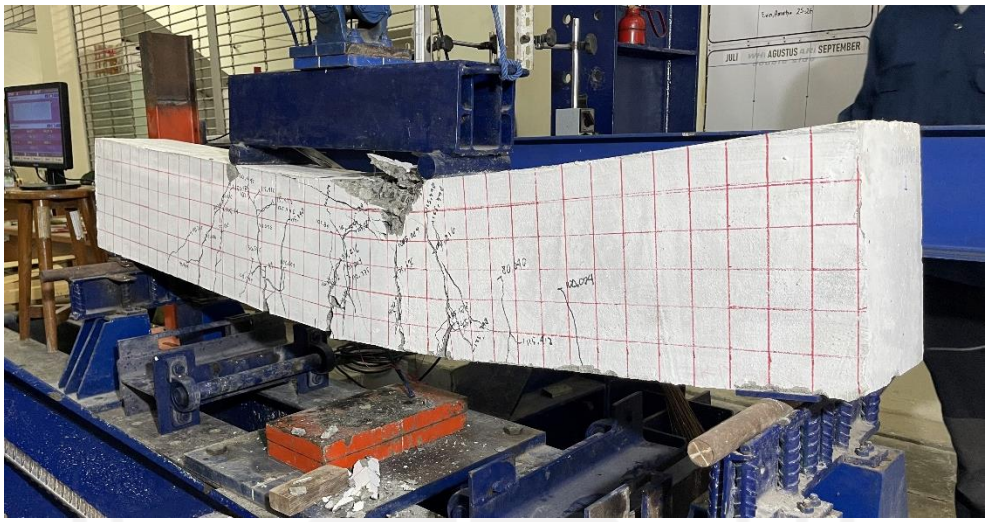
normal maupun balok sambungan lewatan. Namun menurut hasil kuat lenturnya, balok sambungan lewatan memiliki nilai yang lebih baik meskipun kurang dari 5%.

Balok dengan sambungan mekanis *clamp* pada dasarnya merupakan sambungan lewatan dengan perpaduan pengikat tambahan berjenis *clamp*. Meskipun panjang penyaluran pada sambungan mekanis *clamp* nilainya jauh lebih kecil, tetapi dengan bantuan *clamp* yang dapat mengikat dengan kekuatan baut yang telah ditentukan menghasilkan lendutan yang lebih baik akibat dari gesekan tulangan dan *clamp* yang menahan. Namun, berdasarkan uji tarik clamp yang telah penulis lakukan belum mencapai performa maksimal dari clamp tersebut. Dengan perbandingan penelitian Ginting (2014), jika sambungan clamp dapat dioptimalkan kembali tidak menutup kemungkinan performa sambungan clamp dapat meningkat.

5.8 Pola Retak Balok

Selain dari perbedaan nilai kuat lentur, saat pengujian berlangsung dapat mengamati setiap peristiwa yang terjadi antara balok normal, balok sambungan *clamp*, dengan balok sambungan lewatan. Pola keretakan yang terjadi setiap balok relative sama, yaitu berawal dari retak lentur pada bagian tarik di tengah bentang balok yang selanjutnya bergerak ke atas. Pada beberapa sampel balok mengalami lendutan yang disebabkan oleh lelehnya baja tulangan hingga mencapai beban ultimitnya dan berakhir dengan terjadinya patahan pada balok.

1. Balok Normal 1

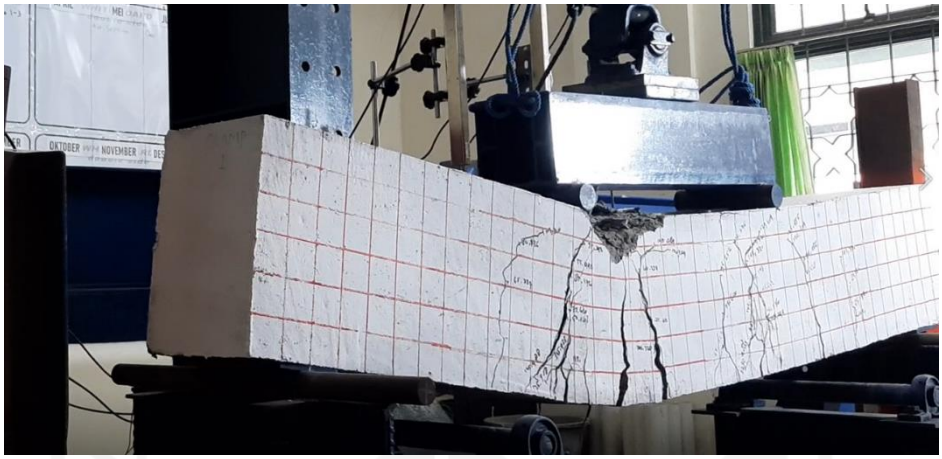


Gambar 5.17 Kondisi Balok Normal 1 Setelah Pengujian

Pola keretakan pertama pada balok normal muncul pada beban 44 kN dengan jenis retak lentur di sekitar titik beban sebelah kiri (Gambar 5.15). Kemudian retakan merambat ke daerah tekan dan bertambah retakan baru di daerah tengah bentang balok dengan jenis retakan yang sama. Jenis retakan yang ditemukan pada balok normal hanya jenis retak lentur.

Balok normal mencapai beban ultimitnya pada beban 132,552 dan terjadi patahan pada daerah tekan balok. Patahan balok terbesar pada sisi tekan ini terjadi di tengah bentang balok dengan lendutan akhir 72,6 mm, setelah dilakukan pembongkaran balok terlihat baja tulangan yang telah mengalami leleh namun tidak putus dan hanya terjadi pembengkokan.

2. Balok Clamp 1



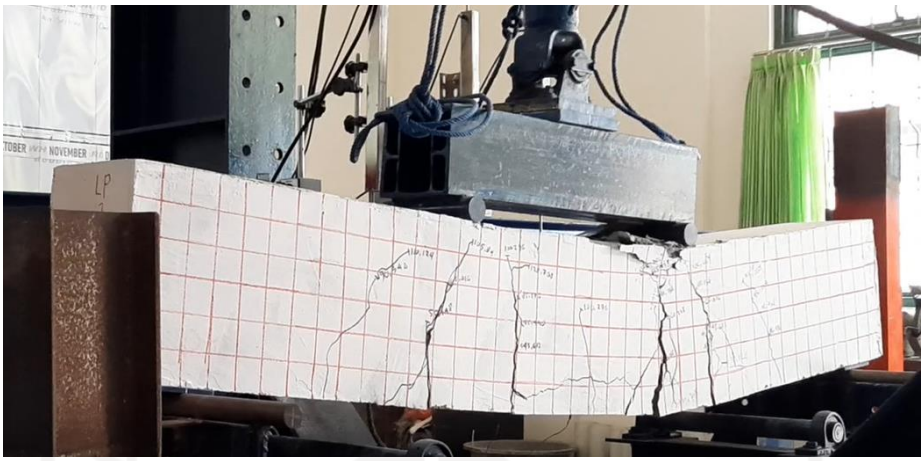
Gambar 5.18 Kondisi Balok Clamp 1 Setelah Pengujian

Pembebanan pada balok clamp relative sama dengan balok normal hingga awal keretakan muncul saat beban mencapai 45 kN. Beban sempat mengalami penurunan pada saat beban mencapai 130 kN dan turun di 126,31 kN, kemudian beban naik kembali hingga mencapai beban ultimitnya di 134,82 kN. Dalam perjalanannya mencapai beban ultimit, pembebanan bersifat sangat dinamis disertai munculnya retakan baru secara tiba-tiba.

Kerusakan terparah balok berada di daerah beban sebelah barat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.16. Jenis retakan yang ditemukan pada balok clamp hanyalah retak lentur, dengan dua retakan parah yang menjalar dari daerah tekan menuju daerah tarik persis dibawah beban titik. Selain itu untuk mengetahui kerusakan pada daerah tulangan dilakukan pembongkaran pada bagian tengah balok dan didapatkan hasil tulangan yang mengalami leleh telah putus dan terletak di daerah tepat sebelum sambungan.

Dibandingkan dengan balok normal, balok clamp memiliki nilai kuat lentur dan lendutan yang lebih baik. Lendutan maksimum pada tengah bentang balok mencapai 85,592 mm. Dengan kurva pembebanan yang mirip dengan balok normal, tetapi balok clamp dapat mencapai lendutan yang lebih tinggi. Berdasarkan data ini, balok clamp dikatakan memiliki tingkat daktilitas yang lebih baik diantara balok lainnya.

3. Balok Lewatan 1



Gambar 5.19 Kondisi Balok Lewatan 1 Setelah Pengujian

Pembebanan pada balok lewatan relative sama dengan sampel balok lainnya, hingga pada beban 45 kN muncul retak lentur pertama dari daerah tekan di tengah bentang balok. Retakan yang cukup parah terjadi pada tepat di bawah beban sebelah timur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.17. Pembebanan bersifat dinamis hingga mencapai beban ultimitnya di 137,844 kN, yang merupakan beban tertinggi dari balok lainnya. Hal yang menarik adalah setelah beban mengalami penurunan pertama, beban meningkat pesat dibandingkan dengan balok lainnya dimulai pada beban 116,43 kN. Setelah itu, karena retak terparah terjadi tepat dibawah beban titik sebelah timur maka lendutan tertinggi tidak beraa di tengah bentang melainkan di beban titik bagian timur.

Pola retak pada balok dengan sambungan lewatan ini tersebar pada daerah sekitar titik pembebanan. Balok ini memiliki perbedaan dengan balok lain dengan munculnya retak geser sesaat sebelum balok runtuh, tepatnya pada beban 129,36 kN. Setelah balok dilakukan pembongkaran, didapat penurunan sambungan lewatan sebanyak 11 mm. Berikut merupakan gambar kondisi sambungan tulangan setelah dilakukan pembongkaran.



Gambar 5.20 Kondisi Balok Lewatan 1 Setelah Pengujian

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis serta pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan, maka didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Pengujian kuat lentur yang telah dilakukan menghasilkan nilai kekuatan lentur balok dengan sambungan normal sebesar 40,47 kNm, balok dengan sambungan lewatan sebesar 42,06 kNm, dan balok dengan sambungan mekanis clamp sebesar 41,16 kNm. Berdasarkan nilai kuat lenturnya, balok dengan sambungan mekanis clamp belum bisa menggantikan balok dengan sambungan lewatan, balok dengan sambungan lewatan masih memiliki nilai kuat lentur yang lebih baik diantara balok lainnya.
2. Kapasitas lendutan maksimum yang didapatkan pada balok normal sebesar 72,6 mm, balok sambungan lewatan sebesar 78,445 mm, dan balok dengan sambungan mekanis clamp sebesar 85,592 mm. Balok dengan sambungan clamp dapat menjadi pertimbangan apabila ditinjau dari lendutan maksimum yang diterima balok. Namun dalam penelitian ini masih terdapat kesalahan dalam analisis panjang penyaluran, hal ini mengakibatkan performa lentur balok dengan sambungan lewatan menjadi tidak maksimal. Sehingga apabila panjang penyaluran yang diterapkan sesuai, tidak menutup kemungkinan balok dengan sambungan lewatan dapat mengungguli balok dengan sambungan mekanis clamp lebih baik.

6.2 Saran

Penelitian yang penulis lakukan masih jauh dari kata sempurna. Berdasarkan kesimpulan yang telah dijelaskan, berikut beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk memperbaiki serta mengembangkan penelitian selanjutnya.

1. Memastikan kembali apa yang telah diperhitungkan dalam teori diaplikasikan dengan baik di lapangan.

2. Memodifikasi bentuk, ukuran, jumlah clamp serta menggunakan material pelat baja yang lebih baik.
3. Menggunakan jenis tulangan dan dimensi yang berbeda untuk mengetahui performa lentur yang dapat terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

ACI 439.3R-91, 1999. Mechanical Connections of Reinforcing Bars, Standard by American Concrete Institute. Concr. Int. 5, 24–35.

Ahmad, I.A., Taufieq, N.A.S., Aras, A.H., 2009. Analisis Pengaruh Temperatur terhadap Kuat Tekan Beton. J. Tek. Sipil 16, 63.

Asroni, A., 2010. BALOK DAN PELAT BETON BERTULANG. D. H. 로렌스 연구 0, 0.

Aurick, K., Sutandi, A., 2018. Studi Perbandingan Sambungan Tulangan Kolom Dengan Metode Lap Splice Dan Metode Mechanical Splice Pada Proyek Indonesia 1. JMTS J. Mitra Tek. Sipil 1, 214.

Badan Standarisasi Nasional, 2017. SNI 2052-2017 Baja tulangan beton. Sni 2052-2017 15.

Dady, Y.T., et al, 2015. Pengaruh Kuat Tekan Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang. J. Sipil Statik 3, 341–350.

Dipohusodo, I., 1999. Struktu Beton Bertulang SK. SNI T-15-1991-03 1–527.

Ginting, J.F., 2014. Usulan Clamp Sebagai Sambungan Mekanis.

Mahlisani, N., Teguh, M., 2014. Flexural performance of RC beams strengthened.pdf 283–292.

Nasional, B.S., 2019. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019). Persyaratan Bet. Strukt. untuk Bangunan Gedung 695.

Nawy, Edward, 1998. Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar.

Nugroho, J.A., 2012. PERILAKU SAMBUNGAN MEKANIS JENIS CLAMPING

Nurlina, S., Suseno, H., Hidayat, M.T., Pratama, I.M.Y., 2016. Perbandingan Daktilitas Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Perkuatan *CRFP* dan *GFRP*. Rekayasa Sipil 10, 62–69.

Parmo, Tavio, 2015. Inovasi Sambungan Mekanis Menggunakan Clamp Baja. EMARA Indonesia. J. Archit. 1.

SNI 03-2834-2000, 2000. SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana

campuran beton normal. Sni 03-2834-2000 1–34.

Sulastri, S., 2020. Perbandingan Perilaku Balok Tanpa Sambungan Lewatan Dan Balok Dengan Sambungan Lewatan.

Murdock, L. 1999. *Bahan dan praktek beton / L.J. Murdock, K.M. Brook; alih bahasa oleh Stephanus Hendarko* (Ed.ke-4.). Jakarta: Erlangga.

Cormac, M. 2001. Desain Beton Bertulang Jilid 1.

Reza, K. 2021. Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan Semen Powermax Terhadap Daktilitas, Kekakuan Serta Kuat Lentur Balok Beton Bertulang. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta

Achmadi. 2001. Panjang Efektif Sambungan Lewatan Berkait Tulangan Polos Pada Elemen Struktur Balok Dukungan Sederhana. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Ananda, A. R. 2021. Pengaruh Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Polymer Sebagai Bahan Pengganti Baja Tulangan Terhadap Kuat Lentur Beton. Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta

LAMPIRAN 1

Hasil Pengujian Kuat Tarik

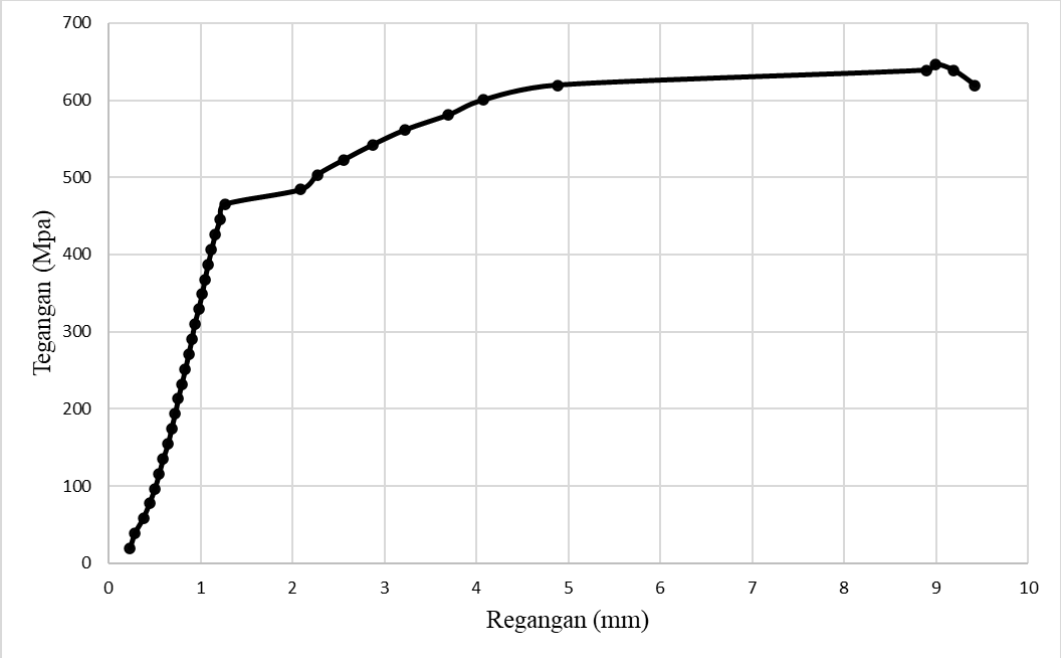
Tabel L-1.1 Data Pembebanan Baja Tulangan D13

Beban		Ekstensiometer	Δ Sebenarnya	Tegangan (σ)	Regangan (g)	Skala gambar	
Kgf	N	(Δ L) ....10^2mm	ΔL mm	(P/A) Mpa	(ΔL/Lo)	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 L-1.1 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	mm2
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 L-1.1 Kurva Tegangan Regangan Kuat Tarik Baja Tulangan D13



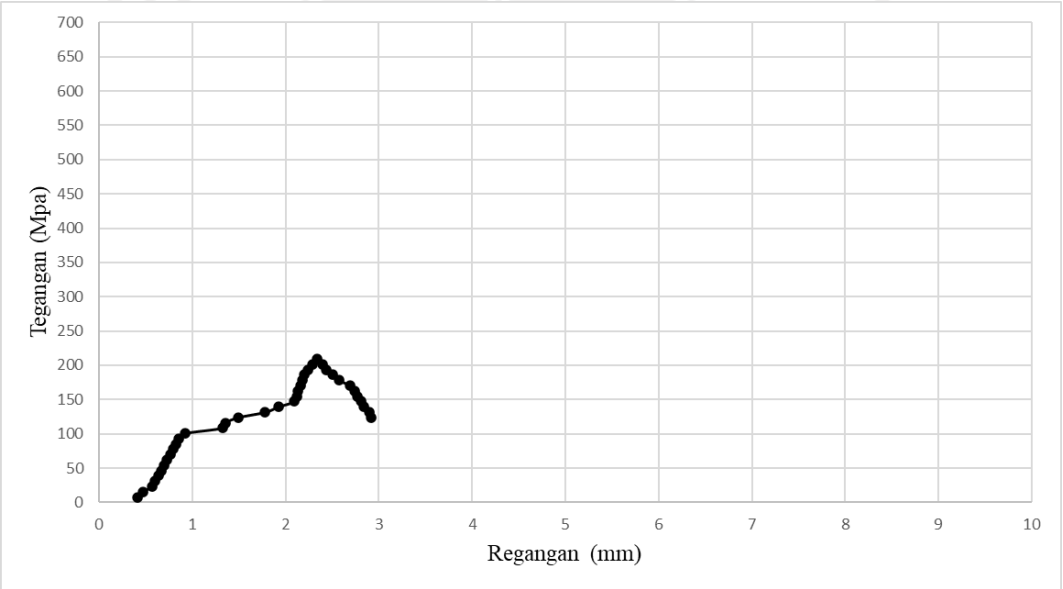
Tabel L-1.3 Data Pembebanan Baja Tulangan D13 Sambungan Clamp

Beban		Ekstensiometer	Δ Sebenarnya	Tegangan (σ)	Regangan (g)	Skala gambar	
Kgf	N	(Δ L) ....10^2mm	ΔL mm	(P/A) Mpa	(ΔL/Lo)	r	t
100	981	0.26	0.00258	7.744	4.06436E-05	0.41	7.744
200	1962	0.30	0.003	15.488	4.726E-05	0.47	15.488
300	2943	0.36	0.00361	23.232	5.68695E-05	0.57	23.232
400	3924	0.38	0.0038	30.976	5.98626E-05	0.60	30.976
500	4905	0.40	0.00403	38.721	6.34859E-05	0.63	38.721
600	5886	0.43	0.00425	46.465	6.69516E-05	0.67	46.465
700	6867	0.44	0.00444	54.209	6.99448E-05	0.70	54.209
800	7848	0.46	0.0046	61.953	7.24653E-05	0.72	61.953
900	8829	0.49	0.00486	69.697	7.65612E-05	0.77	69.697
1000	9810	0.50	0.00502	77.441	7.90817E-05	0.79	77.441
1100	10791	0.52	0.0052	85.185	8.19173E-05	0.82	85.185
1200	11772	0.54	0.00541	92.929	8.52255E-05	0.85	92.929
1300	12753	0.58	0.00584	100.673	9.19994E-05	0.92	100.673
1400	13734	0.84	0.00839	108.418	0.00013217	1.32	108.418
1500	14715	0.86	0.0086	116.162	0.000135479	1.35	116.162
1600	15696	0.95	0.00947	123.906	0.000149184	1.49	123.906
1700	16677	1.13	0.0113	131.650	0.000178013	1.78	131.650
1800	17658	1.22	0.0122	139.394	0.000192191	1.92	139.394
1900	18639	1.33	0.0133	147.138	0.000209519	2.10	147.138
2000	19620	1.34	0.01344	154.882	0.000211725	2.12	154.882
2100	20601	1.35	0.01354	162.626	0.0002133	2.13	162.626
2200	21582	1.37	0.0137	170.370	0.000215821	2.16	170.370
2300	22563	1.39	0.01385	178.115	0.000218184	2.18	178.115
2400	23544	1.40	0.01399	185.859	0.000220389	2.20	185.859
2500	24525	1.42	0.0142	193.603	0.000223697	2.24	193.603
2600	25506	1.45	0.0145	201.347	0.000228423	2.28	201.347
2700	26487	1.48	0.01483	209.091	0.000233622	2.34	209.091
2600	25506	1.52	0.0152	201.347	0.000239451	2.39	201.347
2500	24525	1.55	0.01548	193.603	0.000243861	2.44	193.603
2400	23544	1.59	0.01591	185.859	0.000250635	2.51	185.859
2300	22563	1.63	0.01634	178.115	0.000257409	2.57	178.115
2200	21582	1.71	0.0171	170.370	0.000269382	2.69	170.370
2100	20601	1.74	0.01742	162.626	0.000274423	2.74	162.626
2000	19620	1.76	0.0176	154.882	0.000277259	2.77	154.882
1900	18639	1.78	0.0178	147.138	0.000280409	2.80	147.138
1800	17658	1.80	0.018	139.394	0.00028356	2.84	139.394
1700	16677	1.84	0.0184	131.650	0.000289861	2.90	131.650
1600	15696	1.85	0.01854	123.906	0.000292067	2.92	123.906

Tabel L-1.4 Hasil Analisis Kuat Tarik Baja Tulangan D13 Sambungan Clamp

Uraian	Hasil	Satuan
Panjang total benda uji (Lt)	600	mm
Panjang pada bagian kecil (bidang uji)	110	mm
Panjang ukur awal benda uji (Lo)	63.47866222	mm
Diameter awal benda uji (do) (kecil)	12.7	mm
Diameter contoh asli (D) (besar)	16.2	mm
Luas penampang benda uji semula (Ao)	126.6768698	mm2
Beban maksimum	2700	kgf
	26487	N
Kuat Tarik Maksimum (Pu)	209.0910523	Mpa
Kuat Tarik Leleh (Fy)	100.6734696	Mpa
Regangan Maksimum	-100%	%
Konsentrasi Penampang (S)	64%	%

Gambar L-1.2 Kurva Tegangan Regangan Kuat Tarik Baja Tulangan D13



LAMPIRAN 2

Dokumentasi

Gambar L-2.1 Persiapan Pengujian Material



Gambar L-2.2 Persiapan Pengujian Material



Gambar L-2.3 Pengecekan Material Baja Tulangan D13



Gambar L-2.4 Hasil Pembentukan Clamp



Gambar L-2.5 Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan D13 Sambungan Clamp



Gambar L-2.6 Pembuatan Bekisting Dari Multiplex



Gambar L-2.7 Persiapan Perakitan Tulangan



Gambar L-2.8 Perakitan Tulangan



Gambar L-2.9 Pemasangan Tulangan ke Bekisting Serta Pemasangan Straingage



Gambar L-2.10 Proses Mixing Campuran Beton



Gambar L-2.11 Uji Slump



Gambar L-2.12 Proses Pengecoran Benda Uji Utama



Gambar L-2.13 Proses Pengecoran Benda Uji Silinder



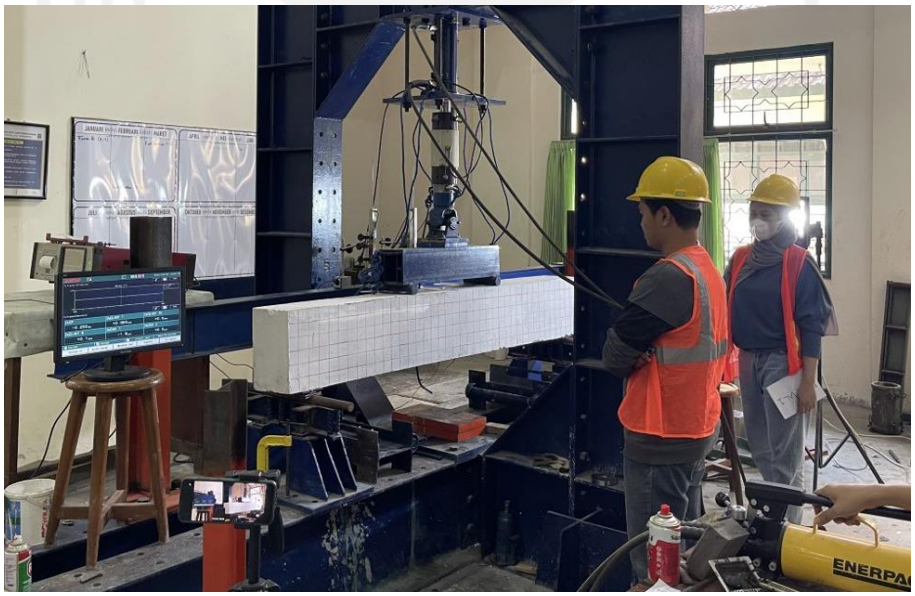
Gambar L-2.14 Proses Curing Menggunakan Karung Basah



Gambar L-2.15 Proses Pengujian Kuat Tekan



Gambar L-2.16 Proses Pengujian Kuat Lentur



Gambar L-2.17 Proses Pengecekan Tulangan Setelah Pengujian



Gambar L-2.18 Kerusakan Pada Balok

