

TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN EFISIENSI BIAYA DAN
PERFORMA KUAT LENTUR ANTARA
SAMBUNGAN LEWATAN DAN SAMBUNGAN
MEKANIS (*CLAMP*) PADA BALOK BETON
BERTULANG
(*COMPARISON OF COST EFFICIENCY AND
BENDING PERFORMANCE BETWEEN
LAPSPlice JOINTS AND MECHANICAL JOINTS
(CLAMP) IN REINFORCED CONCRETE BEAM*)**

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



Dimas Iman Pramono

19511223

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2023**

TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN EFISIENSI BIAYA DAN PERFORMA KUAT LENTUR ANTARA SAMBUNGAN LEWATAN DAN SAMBUNGAN MEKANIS (CLAMP) PADA BALOK BETON BERTULANG (*COMPARISON OF COST EFFICIENCY AND BENDING PERFORMANCE BETWEEN LAPSPLICE JOINTS AND MECHANICAL JOINTS (CLAMP) IN REINFORCED CONCRETE BEAM*)

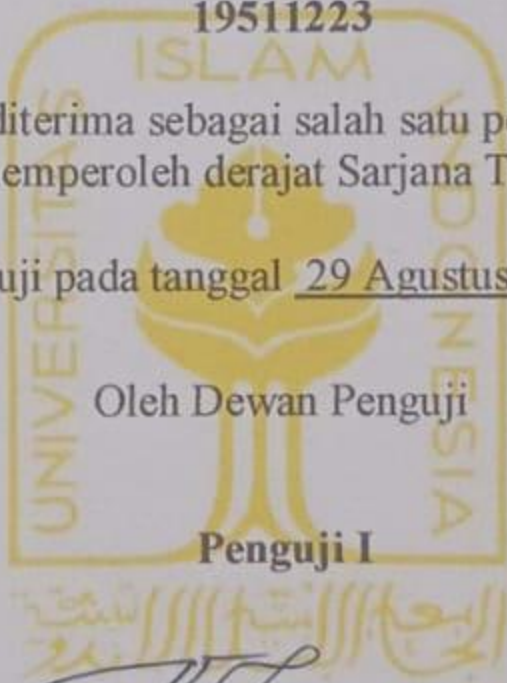
Disusun Oleh

Dimas Iman Pramono
19511223

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

Diuji pada tanggal 29 Agustus 2023

Oleh Dewan Penguji



Penguji I

Penguji II

Pembimbing

Jafar S.T., MURP., M.T.
NIK: 185111305

Helmy Akbar Bale.Ir.,M.T.
NIK: 885110105

Malik Mushthofa, ST., M.Eng
NIK: 185111302

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Zamalia Muntafi, ST., MT., Ph.D.
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 5 September 2023

Yang membuat pernyataan,



Dimas Iman Pramono

(19511223)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas akhir yang berjudul *Perbandingan Efektivitas Biaya Dan Performa Kuat Lentur Antara Sambungan Lewatan Dan Sambungan Mekanis (Clamp) Pada Balok Beton Bertulang*. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, banyak hambatan yang dihadapi oleh penulis. Namun berkat saran, kritik serta dukungan dari berbagai pihak, Tugas akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, ucapan terimakasih yang kepada:

1. Bapak Jafar S.T., MURP., M.T selaku Dosen Pembimbing;
2. Bapak Helmy Akbar Bale,Ir.,M.T., dan Bapak Malik Mushthofa, ST., M.Eng., selaku Dosen Penguji;
3. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia;
4. Bapak dan Ibu dosen pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah membagikan ilmunya;
5. Almarhum Bapak Eko Ratmono dan ibu Marga Retno Sari Yayuk Mulyati selaku orang tua yang senantiasa memberikan semangat, kepercayaan dan berkorban begitu banyak baik material maupun spiritual;
6. Rizki Wahyu Nugraha selaku partner saya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini yang senantiasa membantu dan bekerja sama dengan baik demi kelancaran penelitian yang dilakukan;

7. Arif Mukhsinin, Arif Budiman, Dandhi, Arie Putra, Arie Mukti, Alhadi, Diffa, Pabeanggi, Zaidan, Rakha, Indra, Nurdin Majid, Rizki Alhamdani, Herjuno, Faris, Bagas, Aqil, Wildan, Afif, Zahran, Rani, Bunga, maz Zaki dan mas Firza serta rekan-rekan seperjuangan lainnya yang selalu senantiasa memberikan dukungan serta semangat; dan
8. Bapak Hari beserta staf laboratoium BKT dan laboratoium Struktur yang telah meminjamkan tenaga, waktu, dan pikirannya demi membantu saya dalam pengerjaan dan pembuatan benda uji dalam penelitian ini;
9. Saudara M. Hildan Akbar dan Ibu Diah Nugraeni karena telah memberi dukungan untuk saya terus menimba ilmu pada saat pandemi berlangsung; dan
10. Semua pihak yang telah ikut andil dalam penelitian ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu..

Diharapkan, Tugas akhir ini bermanfaat bagi pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 5 September 2023

Penulis,

Dimas Iman Pramono

19511223

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
ABSTRAK	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Penelitian	4
1.6 Lokasi Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Perbedaan Penelitian	9
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 Konsep Beton Bertulang	14
3.1.1 Beton	16
3.1.2 Tulangan Baja	19
3.1.3 Damdex	21
3.2 Pembuatan Beton	22
3.3 Sambungan Lewatan (<i>Lap Splice</i>)	26

3.4	Sambungan Mekanis <i>Clamp</i> (<i>Clamp Mechanical Connection</i>)	30
3.5	Keretakan Pada Balok	37
3.6	Keruntuhan Pada Balok	39
3.7	Daktilitas Balok	41
3.8	Rencana Anggaran Biaya	46
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		47
4.1	Umum	47
4.2	Variabel Penelitian	47
4.3	Metode Pengumpulan Data	48
4.4	Material yang Digunakan	49
4.5	Alat yang Digunakan	49
4.6	Prosedur Penelitian	50
4.7	<i>Flowchart</i> Penelitian	57
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		58
5.1	Pengujian Propertis Agregat	58
5.1.1	Uji Material Agregat Halus	58
5.1.2	Uji Material Agregat Kasar	62
5.1.3	Pengujian Baja Tulangan	66
5.2	Analisis Proporsi Campuran Beton	70
5.3	Analisis Data <i>Mix Design</i>	76
5.4	Sambungan Tulangan Pada Balok	79
5.4.1	Sambungan Lewatan	79
5.5	Analisis Tulangan Rangkap	80
5.6	Pengujian Kuat Lentur Balok	84
5.6.1	Mekanisme Pembebanan	84
5.6.2	Analisis Hasil Pengujian Kuat Lentur	85
5.7	Respon Balok Terhadap Beban dan Lendutan	88

5.8	Pola Retak Balok	91
5.9	Rencana Anggaran Perakitan Sambungan	94
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		98
6.1	Kesimpulan	98
6.2	Saran	99
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Aspek Perbedaan Penelitian Sebelumnya	10
Tabel 3.1 Faktor Pengali Deviasi Standar	22
Tabel 3.2 Estimasi Kuat Tekan	23
Tabel 3.3 Asumsi Kadar Air Bebas	24
Tabel 3.4 Syarat Minimum kuantitas Semen beserta Maksimum FAS	25
Tabel 3.5 Panjang Sambungan Lewatan Saat Keadaan Tarik Berdasarkan Klasifikasi Kelas	28
Tabel 3.6 Panjang Penyaluran Saat Keadaan Tarik Berdasarkan Diameter	28
Tabel 3.7 Faktor Modifikasi Panjang Penyaluran Tulangan Ulir	29
Tabel 3.8 Tingkat Daktilitas	45
Tabel 5.1 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan air Agregat Halus	59
Tabel 5.2 Uji Modulus Halus Butir Agregat Halus	60
Tabel 5.3 Uji Kandungan Lumpur Agregat Halus	61
Tabel 5.4 Uji Berat Isi Gembur Agregat Halus	61
Tabel 5.5 Uji Berat Isi Padat Agregat Halus	62
Tabel 5.6 Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	63
Tabel 5.7 Uji Modulus Halus Butir Agregat Kasar	64
Tabel 5.8 Uji Berat Isi Gembur Agregat Kasar	65
Tabel 5.9 Uji Berat Isi Padat Agregat Kasar	65
Tabel 5.10 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton	77
Tabel 5.11 Rekapitulasi Perbandingan Kuat Tekan Rata-Rata	78
Tabel 5.12 Rekapitulasi Analisis Tulangan Rangkap	83
Tabel 5.13 Rekapitulasi Perhitungan Mn Percobaan	87
Tabel 5.14 Rasio Perbandingan Mn Pengujian & Mn Teoritis	88
Tabel 5.17 Detail Perhitungan Biaya Pembuatan Sambungan Lewatan	96
Tabel 5.16 Detail Perhitungan Biaya Sampel Sambungan Clamp	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Regangan Tegangan Balok Beton Tulangan Tunggal	15
Gambar 3.2 Diagram Regangan Tegangan Balok Beton Tulangan Rangkap	16
Gambar 3.3 Diagram Tegangan dan Regangan Tekan Beton	18
Gambar 3.4 Diagram Tegangan dan Regangan Tarik Beton	19
Gambar 3.5 Kurva Hubungan Tegangan (f) - Regangan (ϵ)	20
Gambar 3.6 Bagian Kurva Tegangan-Regangan yang Diperbesar	20
Gambar 3.7 Kurva Hubungan antara Kuat Tekan dan FAS	23
Gambar 3.8 Grafik Persentase Agregat Halus	25
Gambar 3.9 Grafik Berat Isi Beton	26
Gambar 3.10 Solid-Type Steel Coupling Sleeve	31
Gambar 3.11 Stell-Filled Coupling Sleeve	32
Gambar 3.12 Wedge-Locking Coupling Sleeve	32
Gambar 3.13 Strap-Type Steel Coupling Sleeve	33
Gambar 3.14 Steel Coupling Sleeve with Wedge	34
Gambar 3.15 Bar Splice Double Barrel	34
Gambar 3.16 Taper-Threaded Steel Coupler	35
Gambar 3.17 Coupler for Thread-Deformed Reinforcing Bars	36
Gambar 3.18 Cold-Swaged Steel Coupling Sleeve	36
Gambar 3.19 Cold-Swaged Steel Coupling Sleeves with Threaded Ends Acting as A Coupler	37
Gambar 3.20 Ilustrasi Retak Lentur	38
Gambar 3.21 Ilustrasi Retak Geser	38
Gambar 3.22 Ilustrasi Retak Geser Lentur	38
Gambar 3.23 Ilustrasi Retak Puntir	39
Gambar 3.24 Ilustrasi Retak Lekatan	39
Gambar 3.25 Perilaku beban dan lendutan pada beton	42
Gambar 3.26 Diagram tegangan-regangan pada kurvatur saat leleh dan ultimit	43

Gambar 4.1 Sambungan Mekanis Clamp	51
Gambar 4.2 ekuivalensi torsi baut	52
Gambar 4.3 Desain Rencana Balok Sambungan Lewatan	52
Gambar 4.4 Desain Rencana Balok Sambungan Clamp	53
Gambar 4.5 Beban Terpusat Ganda (two point loads) Pada Benda Uji Balok	56
Gambar 4.6 Flowchart Penelitian	57
Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus	60
Gambar 5.2 Grafik Analisis Saringan Agregat Kasar Ukuran 20 mm	64
Gambar 5.3 Kurva Tegangan Regangan Baja D13	66
Gambar 5.4 Kurva Tegangan Regangan Baja D13 Sambungan Clamp	68
Gambar 5.5 Uji Tarik Baja Dengan Sambungan Clamp	69
Gambar 5.6 Kondisi Clamp Setelah Pengujian	70
Gambar 5.7 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan FAS	71
Gambar 5.8 Grafik Presentase Agregat Halus	73
Gambar 5.9 Grafik Berat Isi Beton	74
Gambar 5.10 Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton	77
Gambar 5.11 Proses Pembebanan Benda Uji Balok	84
Gambar 5.12 Pembebanan Terpusat Ganda Benda Uji Balok	84
Gambar 5.13 Ilustrasi Pembebanan Balok	85
Gambar 5.14 Diagram Analisis BMD	86
Gambar 5.15 Diagram Analisis SFD	87
Gambar 5.16 Beban vs Lendutan Balok Clamp	89
Gambar 5.17 Beban vs Lendutan Balok Lewatan	89
Gambar 5.18 Perbandingan Beban vs Lendutan Pada Balok Lewatan dan Clamp	90
Gambar 5.19 Kondisi Balok Clamp Setelah Pengujian	91
Gambar 5.20 Kondisi Tulangan Clamp Setelah Pembongkaran	92
Gambar 5.21 Kondisi Balok Lewatan Setelah Pengujian	93
Gambar 5.22 Kondisi Tulangan Lewatan Setelah Pembongkaran	94

ABSTRAK

Baja tulangan yang merupakan salah satu material terpenting dalam dunia konstruksi, khususnya struktur beton bertulang mempunyai keterbatasan panjang 12 meter. Sehingga muncul konsep dan teknologi untuk menyambung baja tulangan tersebut agar mengatasi kurangnya panjang baja tulangan yang diproduksi di industri. Dalam proses pelaksanaannya dapat menggunakan beberapa metode yaitu sambungan lewatan, sambungan pengelasan, dan sambungan mekanis. Sehingga dalam penelitian ini dapat mengetahui performa dan biaya pembuatan dari sambungan lewatan dengan sambungan mekanis (*clamp*) yang diaplikasikan pada balok beton bertulang.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan momen nominal dan lendutan hingga pola retaknya melalui pengujian kuat lentur dengan pembebanan dua titik pada setiap balok beton bertulang yang di dalamnya dipasang sambungan lewatan dan sambungan mekanis (*clamp*). Selain itu, anggaran biaya yang harus dikeluarkan dalam pembuatan kedua sambungan tersebut yang nantinya akan berdampak pada efisiensi biaya dan kinerja balok dapat diketahui juga.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai momen nominal dan lendutan dari balok beton bertulang sambungan lewatan berturut-turut adalah 33,5 KNm dan 69,37 mm, sedangkan untuk balok beton bertulang sambungan *clamp* adalah 32,31 KNm dan 49,02 mm. Kemudian anggaran biaya yang harus dikeluarkan untuk perakitan maupun pembuatan sambungan lewatan dan sambungan *clamp* berturut-turut adalah Rp. 35.077 dan Rp. 67.350,97. Dari hasil diatas disimpulkan bahwa balok yang dipasangkan sambungan lewatan memiliki kinerja lebih tinggi dari sisi momen nominal dan lebih daktail dari dari sisi lendutan jika dibandingkan balok yang dipasangkan sambungan *clamp*. Dari segi biaya, balok dengan sambungan lewatan juga memiliki biaya produksi yang lebih murah dibandingkan balok sambungan *clamp*.

Kata kunci : sambungan lewatan, sambungan mekanis, kuat lentur, *clamp*, anggaran biaya

ABSTRACT

Reinforcement steel, which is one of the most crucial materials in the construction industry, especially in reinforced concrete structures, has a length limitation of 12 meters. Therefore, the concept and technology of connecting reinforcement steel have emerged to overcome the limitation of the length of reinforcement steel produced in the industry. In the implementation process, various methods can be used, such as lap splicing, welding splicing, and mechanical splicing. This research aims to evaluate the performance and cost of creating splices using lap splicing and mechanical splicing (clamp) applied to reinforced concrete beams.

The research aims to compare the nominal moment and deflection patterns through flexural strength testing with two-point loading on each reinforced concrete beam with lap splicing and mechanical splicing (clamp). Additionally, the budget required for creating both types of splices, which will ultimately impact cost efficiency and beam performance, is also assessed.

The research results indicate that the nominal moment and deflection values for reinforced concrete beams with lap splicing are 33.5 kNm and 69.37 mm, respectively, while for beams with clamp splicing, they are 32.31 kNm and 49.02 mm. Furthermore, the cost estimates for assembling and creating lap splicing and clamp splicing are Rp. 35.077 and Rp. 67.350,97, respectively. From these findings, it can be concluded that beams with lap splicing exhibit higher performance in terms of nominal moment and are more precise in terms of deflection compared to beams with clamp splicing. In terms of cost, beams with lap splicing also have lower production costs compared to beams with clamp splicing.

Keywords: *lap splice, mechanical joints, flexural strength, clamp, budget*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan populasi di Indonesia terus mengalami pertumbuhan yang disertai maraknya pembangunan gedung-gedung bertingkat guna memenuhi kebutuhan akan tempat tinggal, perkantoran, fasilitas umum dan lain sebagainya. Oleh karena itu, diperlukan perancangan bangunan atau gedung bertingkat yang dapat mengakomodir kebutuhan tersebut dengan biaya pembangunan dan menghasilkan struktur yang aman akan gempa. Salah satu faktor yang perlu dicermati pada saat merancang struktur dari suatu bangunan bertingkat adalah daktilitas dan perencanaan kekuatan struktur tersebut. Menurut SNI 1726:2019, daktilitas dan kekuatan struktur harus mampu menurunkan atau melanjutkan gaya-gaya yang terjadi pada saat terjadinya gempa dari suatu bagian struktur ke bagian lainnya sehingga dapat berfungsi sebagai sistem pemikul beban seismik pada gedung. Kekuatan struktur bangunan bertingkat akan terlihat saat terjadi gempa karena adanya peningkatan beban secara tiba-tiba. Sedangkan, daktilitas adalah kemampuan struktur bangunan bertingkat untuk berdeformasi tanpa kehilangan kekuatannya secara signifikan yang bertujuan mencegah terjadinya keruntuhan secara tiba-tiba (*brittle*) karena beban gempa. Sehingga diperlukan perhitungan beban pada struktur bangunan bertingkat secara akurat dan tepat agar sebuah desain bangunan bertingkat tersebut memenuhi persyaratan keamanan yang layak dan dibangun dengan ekonomi yang baik (Mahlisani and Teguh, 2014). Hal ini juga membuat kebutuhan akan material bangunan bertingkat terus diproduksi, salah satunya adalah baja tulangan.

Menurut SNI 2052:2017, pada struktur beton bertulang, baja tulangan merupakan baja yang digunakan untuk penulangan dalam konstruksi beton bertulang yang berfungsi untuk menahan gaya tarik yang bekerja pada berbagai macam konstruksi. Namun demikian, ketersediaan panjang baja tulangan di pasaran, khususnya di Indonesia hanya memiliki baja tulangan sepanjang 12 meter.

Menurut SNI 07-2050-2002, panjang baja tulangan ditetapkan maksimal 12 meter dengan toleransi panjang baja tulangan tidak boleh melebihi batas toleransi sepanjang 70 mm. Standarisasi ini sesuai dengan standar JIS (*Japan Industrial Standard*). Hal ini dimaksudkan untuk memudahkan transportasi dan penyimpanan yang efisien untuk material. Sehingga muncul konsep dan teknologi untuk menyambung baja tulangan tersebut agar mengatasi kurangnya panjang baja tulangan yang dibuat di industri.

Menurut ACI 439.3R-91-1999, sambungan tulangan adalah salah satu unsur penting dalam struktur yang memiliki tugas dalam memindahkan gaya serta berfungsi menjadi perantara disipasi energi yang berada di antara bagian-bagian yang disambung. Perencanaan kekuatan serta titik pemasangan dari sambungan perlu dirancang sedemikian hingga agar tidak menjadi penyebab keruntuhan fatal pada desain struktur (Nurjaman, 2000).

Sesuai penjelasan di atas bahwa munculnya konsep dan metode penyambungan tulangan dilakukan karena kurang atau tidak adanya panjang tulangan yang diproduksi dan ditambah situasi di lapangan. Dalam peraturan SNI 03-2847-2013, tertulis bahwa tidak menyarankan maupun mencegah metode apapun dari jenis sambungan mekanis. Menurut SNI-2847-2019, penyambungan pada material tulangan baja dapat dilaksanakan melalui tiga jenis metode, yakni dengan metode sambungan lewatan (*lapssplice*), sambungan las (*weldedsplice*), dan sambungan mekanis (*mechanical connections*).

Menurut SNI-2847-2019 Pasal 10.7.5.1.1 mengizinkan penerapan sambungan mekanis secara penuh, sambungan lewatan dan sambungan las. Selain itu, menurut SNI-2847-2019 juga memperbolehkan metode penyambungan dengan gabungan antara kedua metode, yaitu sambungan mekanis dan sambungan lewatan.

Metode penyambungan dengan metode sambungan lewatan dan metode sambungan mekanis (*clamp*) tentu memiliki perbedaan, seperti performa sambungan dan sumber daya yang harus dikeluarkan yang dapat mempengaruhi performa dan hasil dari struktur bangunan bertingkat yang akan dibangun. Oleh karena itu, diperlukan sebuah acuan dalam pemilihan salah satu atau semua metode sambungan tulangan dalam suatu proyek konstruksi agar proyek bisa berjalan

dengan memenuhi persyaratan keamanan dan hasil yang efektif serta efisien dalam penggunaan sumber daya.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini akan berfokus kepada meneliti efektivitas dari sambungan sambungan mekanis berjenis *clamp* dan sambungan lewatan (*lap splice*) terhadap perilaku lentur balok bertulang. Tugas akhir ini diharapkan menjadi referensi bagi para perancang struktur bangunan bertingkat serta kontraktor dalam menerapkan sambungan tulangan di proyek bangunan bertingkat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latarbelakang di atas, bisa diuraikan rumusan permasalahan yang dapat dijabarkan, sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan nilai momen nominal antara sambungan mekanis *clamp* dengan sambungan lewatan?
2. Bagaimanakah lendutan yang terjadi pada balok sambungan mekanis *clamp* dengan balok sambungan lewatan?
3. Berapa biaya yang diperlukan dari segi material dan tenaga dalam pembuatan balok dengan sambungan mekanis *clamp* dan sambungan lewatan?
4. Bagaimana perbandingan efektivitas dari metode sambungan mekanis berjenis *clamp* dan sambungan lewatan dari segi performa dan biaya?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian rumusan masalah maka didapat tujuan dari penelitian, sebagai berikut:

1. Mengetahui besar nilai momen nominal yang dihasilkan pada balok sambungan *clamp* dan balok dengan sambungan lewatan
2. Mengetahui besarnya lendutan dan beban yang terjadi antara sambungan mekanis *clamp* dengan sambungan lewatan.
3. Mengetahui besar biaya yang diperlukan dari segi material dan tenaga dalam pembuatan balok yang memakai sambungan berjenis mekanis *clamp* dan sambungan jenis lewatan.
4. Mengetahui perbandingan efisiensi dari metode sambungan lewatan dan sambungan mekanis *clamp* dari segi performa dan biaya

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan bisa menyumbang kontribusi bagi kemajuan dunia teknik sipil, khususnya konstruksi pada pembangunan gedung bertingkat. Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Sebagai referensi dan bahan masukan dalam penggunaan sambungan lewatan dan sambungan mekanis jenis *clamp* dalam sebuah struktur.
2. Sebagai bahan pertimbangan bagi perancang dari segi biaya dalam memilih penggunaan sambungan lewatan dan sambungan mekanis jenis *clamp* dalam sebuah proyek.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki batasan masalah yang diuraikan dengan rinci, yaitu:

1. Baja tulangan dari kedua tipe sambungan menggunakan baja tulangan dengan diameter dan konfigurasi tulangan yang sama, yaitu pada tulangan tekan atau tulangan bagian atas menggunakan tulangan dengan diameter 10 mm berjumlah dua (2P10) dan untuk tulangan tarik atau tulangan bagian bawah menggunakan tulangan dengan diameter 13 mm berjumlah dua (2D13), serta tulangan sengkang dengan konfigurasi berdiameter 8 mm dengan jarak antar sengkang 150 mm (P8-150).
2. Mutu beton dari kedua tipe sambungan menggunakan kuat tekan sama yang bernilai $f_c' 25$ MPa dan tulangan dengan mutu yang sama pula bernilai $f_y 420$ MPa untuk tegangan leleh baja tulangan.
3. Benda uji atau sampel balok memiliki dimensi 150 mm x 300 mm x 2000 mm dengan dua variasi sambungan, yaitu tulangan dengan jenis sambungan lewatan serta tulangan dengan sambungan mekanis jenis *clamp*.
4. Pembuatan silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm berjumlah 3 buah untuk setiap jenis sambungan.
5. Percobaan pada benda uji balok dan silinder akan dilakukan saat usia beton sudah 14 hari.
6. Balok dalam penelitian ini menggunakan prinsip *simple beam*.
7. Material air berasal dari laboratorium.

8. Material semen menggunakan semen portland tipe 1.
9. Agregat kasar ukuran maksimal 20 mm.
10. Agregat halus berasal dari Sungai Progo.
11. Bahan tambah berupa Damdex sebesar 2% dari berat semen yang digunakan.

1.6 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sambungan baja tulangan lewatan dan sambungan mekanis telah beberapa kali dilakukan, hal tersebut memberikan referensi serta wawasan bagi penulis. Berikut merupakan referensi dari penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian yang dilakukan.

2.1.1 Pengaruh Panjang Lewatan (*ld*) Dengan Sambungan Mekanis Persegi Enam Terhadap Kuat Tarik Baja Tulangan

Penelitian ini dilakukan Sandi Andika.S.P (2016) yang dilaksanakan di Universitas Negeri Surabaya. Tujuan dari riset ini adalah mengetahui hubungan panjang lewatan (*ld*) terhadap sambungan mekanis yang berbentuk heksagon dengan *tensile strength* dari tulangan dan mengetahui panjang yang optimal dari sambungan lewatan jika divariasikan bersama sambungan berbentuk heksagon tersebut. Studi ini dilakukan dengan studi literatur dari buku dan jurnal serta melakukan beberapa pengujian di laboratorium beton dan ilmu bahan. Kesimpulan dari penelitian ini setelah melakukan proses pengujian adalah:

1. Pengaruh panjang lewatan dengan sambungan mekanis heksagon adalah dengan menggunakan panjang lewatan berapapun tetap akan menurunkan nilai tegangan tarik tulangan (*fu*).
2. Penelitian di atas mendapatkan bahwa panjang lewatan optimal bernilai *11db* dapat menahan beban sebesar 33,9 kN, kemudian nilai tegangan tarik maksimal sebesar 499 Mpa, dan nilai tegangan leleh yaitu 357,7 MPa. Lalu tulangan baja yang tidak memakai sambungan heksagon hanya mencapai beban maksimal sebesar 8 kN, dan tegangan tarik sebesar 117,7 Mpa, serta tegangan leleh bernilai 97,1 Mpa.

2.1.2 Pengaruh Perbandingan Kinerja Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Sambungan Lewatan Dan Sambungan Mekanis (*clamp*)

Penelitian ini dilakukan oleh M Firzaki Musyaffa (2022) yang dilaksanakan di Universitas Islam Indonesia. Tujuan dari penelitian yang dilakukan ialah agar mengetahui perbandingan nilai kuat lentur dari sampel balok beton bertulang yang menerapkan sambungan mekanis *clamp* dan yang menerapkan sambungan lewatan (*lap splice*). Studi ini dilakukan dengan metode eksperimen di laboratorium. Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini mendapatkan nilai kuat lentur balok yang dipasang sambungan mekanis *clamp* bernilai 41,1 kNm, balok yang dipasang sambungan lewatan bernilai 42 kNm, dan balok yang dipasang sambungan normal bernilai 40,4 kNm. Berdasarkan hasil diatas, balok sambungan *clamp* masih tidak mampu mengungguli balok yang dipasang sambungan lewatan.
2. Kapasitas lendutan maksimal terbesar adalah balok yang dipasang sambungan mekanis *clamp* bernilai 85,5 mm, kemudian disusul balok sambungan lewatan bernilai 78,4 mm, dan yang terakhir balok normal bernilai 72,6 mm. dari hasil tersebut sambungan *clamp* dapat menjadi opsi lain apabila ditinjau dari lendutan maksimum yang diterima balok. Kelemahan dalam penelitian ini, yaitu kurang cermatnya peneliti dalam perhitungan panjang penyaluran yang berakibat kepada kuat lentur di balok sambungan lewatan yang menjadi tidak optimal.

2.1.3 Inovasi sambungan mekanis menggunakan *clamp* baja untuk Tulangan Beton

Penelitian ini dilakukan oleh Parmo & Tavio (2015) dari UIN Sunan Ampel, Surabaya dan Institut Teknologi Sepuluh November. Tujuan Penelitian ini adalah untuk mengetahui performa sambungan tulangan dengan metode mengamati kemampuan daktilitas suatu elemen dan sambungan baja tulangan beserta mengukur kekuatan tulangan baja tersebut. Pada jurnal ini dilakukan pengujian tarik untuk menunjukkan kekuatan beserta performa yang cukup baik jika dibandingkan dengan tulangan baja yang menerus dan tidak memakai sambungan apapun. Penelitian ini dilakukan dengan metode pengujian. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa:

1. Kinerja sambungan *clamp* pada tulangan D13 mendapat beban maksimal dan tegangan tarik maksimal yang bernilai sama, yaitu sebesar 58,98% , sedangkan tegangan leleh sebesar 69,12% dari yang diinginkan. Sedangkan di sambungan *clamp* tulangan D16 diperoleh hasil beban maksimal bernilai 55,9%, tegangan tarik maksimum sebesar 55,9% dan tegangan leleh mencapai 55,14%.

2.1.4 Usulan *Clamp* Sebagai Sambungan Mekanis Tulangan Baja Tarik

Penelitian ini dilakukan J.F.Ginting (2014) dari Institut Teknologi Sepuluh November. Tujuan riset adalah untuk mengetahui nilai kuat tarik dari tulangan beserta mengetahui modulus elastisitasnya jika disambung menggunakan sambungan mekanis *clamp* lalu diperbandingkan bersama kuat tarik baja yang dalam keadaan normal sehingga dapat mengembangkan sambungan *clamp* pada struktur beton bertulang. Hasil penelitian ini berkesimpulan bahwa:

1. Jumlah *clamp* terpasang memengaruhi peningkatan kinerja beton bertulang.
2. Diameter tulangan yang menggunakan *clamp* adalah D13, D16, dan D19 dengan kuantitas *clamp* berturut-turut sebanyak 3 buah, 4 buah, dan 5 buah, ternyata setelah dilakukan uji kuat tarik terjadi leleh pada tulangan baja yang disambung.
3. Tulangan berdiameter 13 mm dan 19 mm belum mencapai persyaratan batas minimal sebesar 1,25 kali kuat leleh tulangan yang disambung untuk sambungan mekanis yang berpedoman kepada SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.(1),(2)). Sedangkan Untuk D16 mm mencapai kuat tarik bernilai 571,3 MPa yang mana telah memenuhi persyaratan.

2.1.5 Kinerja Lentur Balok Beton Bertulang Terhadap Berbagai Sambungan

Penelitian ini dilakukan oleh Mahlisani dan Teguh (2014) yang memfokuskan penelitian pada tiga variasi sambungan *lap slice* yang bekerja pada pengaruhnya di balok beton bertulang, antara lain pada balok yang tidak memakai sambungan, balok dengan sambungan las 50D, serta pada balok yang memakai sambungan lewatan 40D. Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Dari pengujian didapatkan hasil kuat tekan rata-rata BU-1 sebesar 41.28 MPa, BU-2 sebesar 41.04 MPa, dan BU-3 sebesar 34.79 MPa. Selain itu juga didapatkan nilai lendutan serta daktilitasnya.
2. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa faktor utama yang mempengaruhi daktilitas balok adalah rasio tulangan, material, dan perlakuan sambungan.

2.2 Perbedaan Penelitian

Adapun komparasi antara penelitian sebelumnya dan penelitian yang dilakukan tercantum pada subbab di bawah ini.

2.2.1 Rincian Perbedaan Penelitian Terdahulu

Perbedaan dan rincian penelitian sebelumnya terdapat pada Tabel 2.1 berikut ini :

Tabel 2.1 Aspek Perbedaan Penelitian Sebelumnya

Aspek	Penelitian Sebelumnya				
Peneliti	Mahlisani & Teguh (2014)	Joi Fiktori Ginting (2014)	Parmo & Tavio (2015)	Sandi Andika Surya Putra (2016)	M Firzaki Musyaffa (2022)
Judul	Kinerja Lentur Balok Beton Bertulang Terhadap Berbagai Sambungan	Usulan Clamp Sebagai Sambungan Mekanis Tulangan Baja TarikBalok Beton Bertulang	Inovasi sambungan mekanis menggunakan clamp baja untuk Tulangan Beton	Pengaruh Panjang Lewatan (<i>ld</i>) Dengan Sambungan Mekanis Persegi Enam Terhadap Kuat Tarik Baja Tulangan	Pengaruh Perbandingan Kinerja Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Sambungan Lewatan Dan Sambungan Mekanis (clamp)
Tujuan	Mengetahui pengaruh di balok beton bertulang dalam hal kuat tekan dan factor daktilitas pada balok yang tidak memakai sambungan, balok dengan sambungan las 50D, serta pada balok dengan sambungan lewatan 40D	Mengetahui kuat tarik beserta modulus elastisitasnya jika disambung dengan <i>clamp</i> serta diperbandingkan bersama kuat tarik baja yang dalam keadaan normal	Mengetahui performa sambungan tulangan dengan metode mengamati kemampuan daktilitas suatu elemen dan sambungan baja tulangan beserta mengukur kekuatan tulangan baja	Mengetahui hubungan panjang lewatan (<i>ld</i>) terhadap sambungan mekanis yang berbentuk heksagon dengan <i>tensile strength</i> dari tulangan dan mengetahui panjang yang optimal dari sambungan lewatan jika divariasikan sambungan berbentuk heksagon	Mengetahui perbandingan kuat lentur balok beton bertulang yang menerapkan sambungan mekanis <i>clamp</i> serta yang menerapkan sambungan lewatan (<i>lap splice</i>).

Lanjutan Tabel 2.1 Aspek Perbedaan Penelitian Sebelumnya

Aspek	Penelitian Sebelumnya				
Metode Penelitian	Eksperimen	Eksperimen	Eksperimen	Eksperimen	Eksperimen
Kesimpulan	<p>1. Dari pengujian didapatkan hasil kuat tekan rata-rata BU-1 sebesar 41.28 MPa, BU-2 sebesar 41.04 MPa, dan BU-3 sebesar 34.79 MPa;</p>	<p>1. Jumlah clamp terpasang memengaruhi kinerja beton bertulang; 2. Diameter tulangan yang menggunakan clamp adalah D13, D16, serta D19 dengan kuantitas clamp berurutan sebanyak 3 buah, 4 buah, dan 5 buah, setelah dilakukan uji kuat tarik terjadi leleh pada tulangan baja yang disambung;</p>	<p>1. 1. Kinerja sambungan clamp pada tulangan D13 mendapat beban maksimal dan tegangan tarik maksimal yang bernilai sama, yaitu sebesar 58,98% , sedangkan tegangan leleh sebesar 69,12% dari yang diinginkan.</p>	<p>1. Pengaruh panjang lewatan dengan sambungan mekanis heksagon adalah dengan menggunakan panjang lewatan berapapun tetap akan menurunkan nilai tegangan tarik tulangan;</p>	<p>1. Nilai kuat lentur balok bersama sambungan mekanis clamp bernilai 41,1 kNm, balok dengan sambungan lewatan bernilai 42 kNm, dan balok dengan sambungan normal bernilai 40,4 kNm;</p>

Lanjutan Tabel 2.1 Aspek Perbedaan Penelitian Sebelumnya

Aspek	Penelitian Sebelumnya				
Kesimpulan	<p>2. didapatkan nilai lendutan serta daktilitasnya;</p> <p>3. disimpulkan bahwa faktor utama yang mempengaruhi daktilitas balok adalah rasio tulangan, material, dan perlakuan sambungan.</p>	<p>3. Tulangan berdiameter 13 mm dan 19 mm belum mencapai persyaratan batas minimal sebesar 1,25 kali kuat leleh tulangan sambungan mekanis. Sementara D16 telah mencapai ketentuan.</p>	<p>Sedangkan di sambungan clamp tulangan D16 diperoleh hasil beban maksimal bernilai 55,9%, tegangan tarik maksimum sebesar 55,9% dan tegangan leleh mencapai 55,14%..</p>	<p>2. panjang lewatan optimal bernilai 11db dengan menahan beban sebesar 33,9 kN, nilai tegangan tarik maksimal sebesar 499 Mpa, dan nilai tegangan leleh 357,7 MPa. Untuk tulangan baja yang tidak memakai sambungan heksagon hanya mencapai beban maksimal sebesar 8 kN, dan tegangan tarik sebesar 117,7 Mpa, serta tegangan leleh bernilai 97,1 Mpa</p>	<p>2. Kapasitas lendutan maksimal terbesar adalah balok sambungan <i>clamp</i> bernilai 85,5 mm, kemudian disusul balok sambungan lewatan bernilai 78,4 mm, serta yang terakhir balok normal bernilai 72,6 mm</p>

2.2.2 Perbedaan Penelitian Sebelumnya dengan Penelitian Sekarang

Perbedaan Penelitian Sebelumnya dengan Penelitian Sekarang terdapat pada beberapa variabel berikut:

1. Dalam tugas akhir ini, peneliti memakai balok berukuran 150 mm x 300 mm x 2000 mm serta memakai konfigurasi tulangan yang sama, yaitu pada tulangan tekan menggunakan tulangan dengan diameter 10 mm berjumlah dua (2P10) dan untuk tulangan tarik menggunakan tulangan dengan diameter 13 mm berjumlah dua (2D13), serta tulangan sengkang dengan konfigurasi P8-150 mm.
2. Penelitian ini akan meneliti efektivitas dari kedua sambungan dengan mengorelasikan performa dan biaya yang dibutuhkan di antara kedua sambungan.
3. Penelitian ini menggunakan konfigurasi *clamp* yang berbeda, yakni dengan 4 pasang *clamp* tiap sambungannya dan menggunakan pelat setebal 6 mm untuk pembuatannya

BAB III

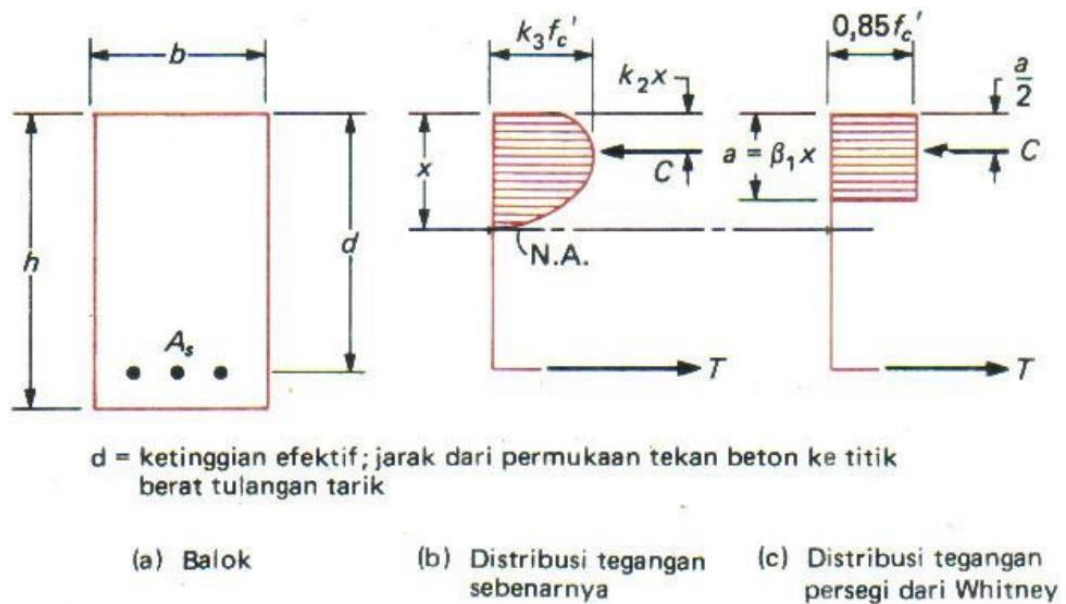
LANDASAN TEORI

3.1 Konsep Beton Bertulang

Pengertian Beton bertulang ialah material bangunan yang sering digunakan dalam dunia konstruksi selain kayu dan material logam seperti baja. Bahan pembentuk beton bertulang yaitu tulangan baja dan beton yang keduanya jelas material yang berbeda (Rusdianto & Septiropa, 2005). Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 3.13, beton bertulang adalah campuran beton yang diberi material baja tulangan dengan kuantitas tertentu serta luasan tulangan baja yang harus lebih dari persyaratan perhitungan minimal yang diwajibkan tanpa atau dengan prategang, serta didesain dengan anggapan bahwa beton dan tulangan tersebut dapat menopang gaya yang terjadi pada struktur yang dibangun dari material-material tersebut.

Beton bertulang ini memiliki sifat beton yakni memiliki kuat tekan sangat baik serta baja tulangan memiliki sifat sangat kuat terhadap beban tarik (Asroni, 2010). Beton bersifat sangat kuat terhadap beban tekan tetapi lemah menghadapi gaya tarik. Di lain sisi, material baja tulangan bersifat sangat baik jika menahan gaya tarik. Oleh karena itu muncul perpaduan antara beton dan tulangan baja agar memiliki kuat tekan sekaligus kuat tarik yang memadai (Sumajouw dkk, 2013).

Balok beton bertulang dibagi menjadi 2 jenis, yang pertama berjenis balok dengan tulangan rangkap dan yang kedua berjenis balok dengan tulangan tunggal. Perbedaan kedua jenis balok beton bertulang berada pada area tulangan memanjangnya. Pada balok beton tulangan tunggal, tulangan didesain dan dipasang hanya pada area yang mengalami gaya tarik saja, sementara itu pada balok beton tulangan rangkap, area yang mengalami gaya tarik dan gaya tekan akan didesain dan dipasang tulangan memanjang. Pada balok beton bertulang, material tulangan berperan dalam menopang momen lentur yang terjadi pada sumbu memanjang balok. Berikut merupakan diagram tegangan-regangan antara balok beton tulangan tunggal dengan tulangan rangkap yang terdapat pada Gambar 3.1 dan 3.2.



Gambar 3.1 Grafik Tegangan-Regangan Balok Beton Tulangan Tunggal

(Sumber: Simatupang, 2013)

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

$$C_c = 0,85 \times f'_c \times a \times b \quad (3.1)$$

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

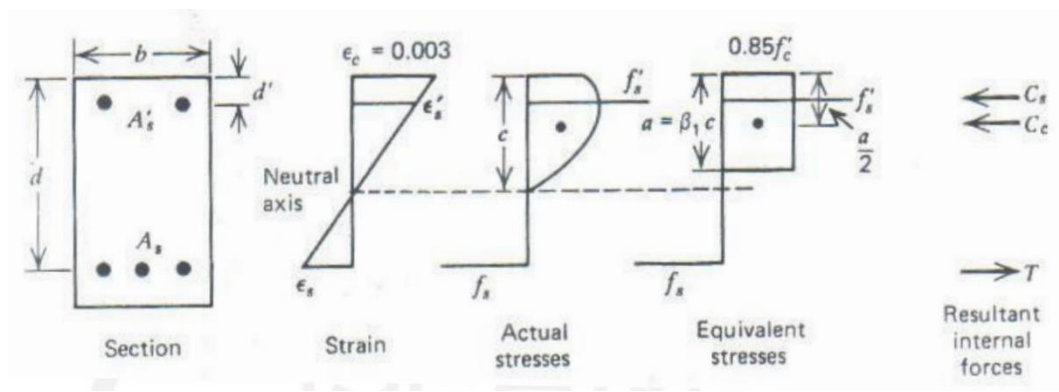
$$M_n = C_c \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (3.3)$$

$$M_n = 0,85 \times f'_c \times b \times a \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (3.4)$$

Atau

$$M_n = T_s \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (3.5)$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (3.6)$$



Gambar 3.2 Grafik Tegangan-regangan Balok Beton Tulangan Rangkap

(Sumber: Simatupang, 2013)

Sedangkan, untuk persamaan untuk menentukan momen nominal (M_n) pada balok beton tulangan rangkap berdasarkan diagram diatas dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$C_s = A_s' \times f_s \quad (3.7)$$

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

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

3.1.1 Beton

Beton adalah material struktur yang diperlukan dengan massif dalam suatu proyek konstruksi. Beton merupakan komposisi yang dihitung sedemikian hingga dengan perbandingan dari semen, air, dan agregat kasar, serta agregat halus yang kemudian dicampurkan serta akan mengeras dalam jangka waktu tertentu (Rosida, 2007 dalam Supriadi,2016). Menurut SNI 2847:2019 beton adalah sebuah kombinasi yang terdiri dari semen hidrolik atau sering dipanggil *portland cement* dengan campuran agregat halus dan kasar beserta air, serta dapat ditambah material aditif lainnya. Beton pada umumnya memiliki kuat rencana (f'_c) maksimal jika apabila sudah mencapai usia 28 hari.

1. Pengujian Kuat Tekan Beton

Beton mampu menahan beban atau tekanan yang sangat tinggi, sehingga mutu beton tersebut harus diuji dengan uji desak. Pengujian dari kuat desak beton

dilaksanakan untuk mengetahui seberapa besar kuat tekan silinder beton yang dilakukan perawatan (*curing*) pada laboratorium sampai berumur 28 hari. Menurut SNI 03-1974-1990, nilai kuat tekan dari suatu beton adalah besarnya beban dibagi satuan luas, yang berakibat benda uji beton tersebut akan hancur jika terus ditekan dengan dengan mesin tekan di laboratorium yang memiliki gaya tekan tertentu. Sehingga kekuatan desak beton dapat dinilai menggunakan rumus berikut.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (3.10)$$

Keterangan:

σ_c = kuat tekan beton (MPa)

P = beban tekan (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)

Beban yang diakibatkan oleh mesin tekan akan mengakibatkan benda uji beton akan berubah menjadi lebih pendek, sehingga akan terjadi regangan tekan pada beton (ϵ_c') sebesar perpendekan beton (ΔL) yang kemudian dibagi dengan tinggi awal silinder beton (L_0). Sehingga regangan beton dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

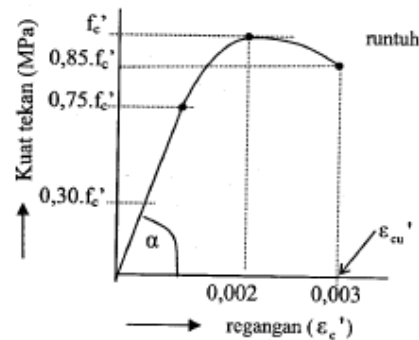
$$\epsilon_c' = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3.11)$$

Keterangan:

ϵ_c' = regangan beton

ΔL = perubahan panjang beton (mm)

L_0 = tinggi mula-mula silinder (mm)



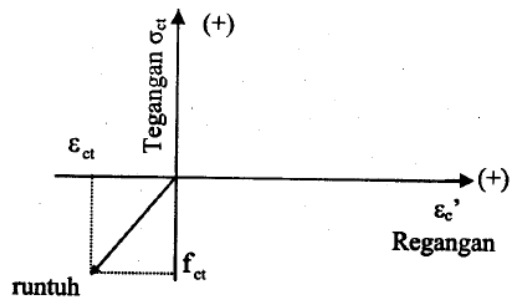
Gambar 3.3 Diagram Tegangan-Regangan Tekan Beton

(Sumber: Asroni, 2010)

Penjelasan diagram tegangan-regangan beton akan dijelaskan dibawah ini:

- a. Saat beban mengalami tekan hingga sampai ke titik 0
 - b. $0,3 f_c'$ hingga $0,4 f_c'$, artinya tegangan pada beton saat itu sedang bersifat linear. Sudah muncul retak lekatan sebelum terjadi tegangan tekan, tetapi tidak berganti dan masih konstan selama nilai tegangan tekan dibawah $0,3 f_c'$.
 - c. Saat beban mengalami tekan melampaui $0,3 f_c'$ hingga $0,4 f_c'$, keretakan lekat sudah terjadi. Pada saat ini deviasi interaksi tegangan-regangan mulai darikondisi linear.
 - d. Saat beban mengalami tekan hingga $0,75 f_c'$ hingga $0,90 f_c'$, keretakan lekat mulai menjalar ke mortar yang mengakibatkan adanya sebuah pola retak yang berkelanjutan. Saat keadaan ini hubungan tegangan-regangan beton sudah tidak dalam keadaan yang linear.
2. Kuat Tarik Beton

Beton memiliki perilaku yang berbeda pada saat beban aksial tarik diberikan, interaksi tegangan dengan regangan tarik beton memiliki sifat linear hingga terbentuk keretakan dan diikuti oleh keruntuhan beton. kuat tarik beton (f_t') memiliki nilai yang lebih sedikit sekitar 10% dibanding nilai kuat tekan beton (Asroni, 2010).



Gambar 3.4 Diagram Tegangan-Regangan Tarik Beton

(Sumber: Asroni, 2010)

3.1.2 Tulangan Baja

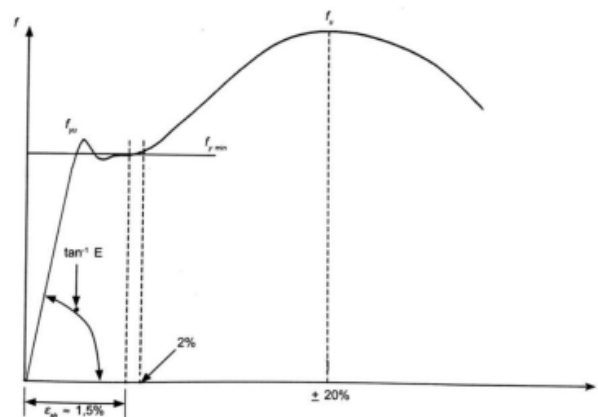
Tulangan yaitu material terpenting dalam proyek pembuatan beton bertulang karena material tersebut merupakan faktor penentu dalam kuatnya struktur konstruksi. Salah satu karakteristik fisik dari tulangan baja yang diimplementasikan dalam pembuatan desain beton bertulang adalah modulus elastisitas (E_s) dan tegangan leleh (f_y).

Salah satu metode atau prosedur untuk mengetahui dan menguji tegangan leleh pada suatu material baja adalah mengacu suatu tolak ukur SII 0136-84. Definisi tegangan leleh pada baja merupakan kondisi baja disaat terjadi kenaikan tegangan dan tidak adanya lagi penambahan regangannya. Sedangkan, modulus elastisitas baja adalah kemiringan awal mula pada daerah elastis dari kurva atau diagram tegangan – regangan. Nilai modulus elastisitas material baja sudah ditentukan di SNI 03-2846-2002 yang menuliskan modulus elastisitas baja (E_s) yang bernilai 200000 MPa.

Menurut SNI 2052-2017, baja tulangan memiliki dua tipe tulangan, yaitu tulangan ulir (*deformed*) dan tulangan polos (*plain*). Namun pada pembaharuan SNI 2847-2019 pasal 20, tulangan dan kawat nonprategang wajib memiliki ulir, kecuali penggunaan kawat polos atau batang sebagai tulangan spiral diperbolehkan. Sedangkan komponen logam lain, seperti baut angkur, pelat ring, atau baja polos pada *joint* konstruksi, biasanya tidak dapat dipertimbangkan sebagai baja tulangan.

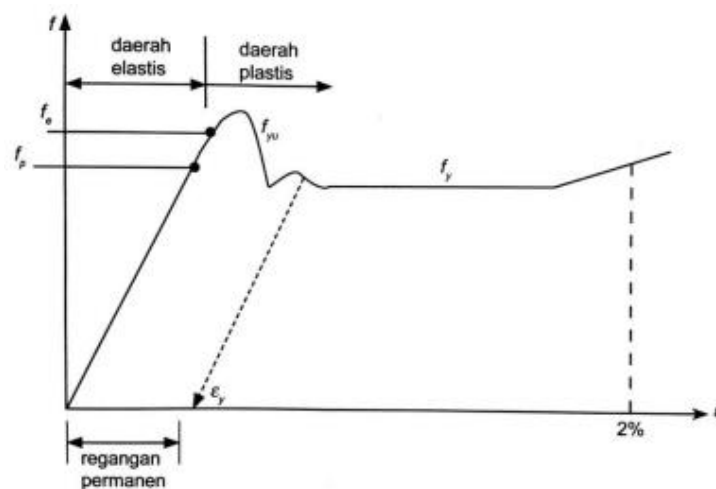
Sifat unik dari suatu struktur baja yang terdiri dari sifat-sifat mekaniknya haruslah dipahami dalam perancangan suatu struktur beton bertulang, diantaranya yaitu modulus elastisitas (E_s) dan tegangan leleh (f_y) (Setiawan, 2008). Sifat mekanik baja tulangan perlu diketahui terlebih dahulu dengan cara melakukan uji tarik. Uji Tarik baja dapat menghasilkan data yang tepat dan mengetahui sifat mekanik material baja. Sedangkan, jika melakukan uji tekan baja maka tidak bisa menghasilkan data yang tepat karena karakteristik kuat tekan baja yang relatif rendah yang mengakibatkan terjadinya tekuk pada tulangan baja.

Berikut ini kurva tegangan-regangan material baja bisa diperhatikan melalui Gambar 3.5 serta 3.6.



Gambar 3.5 Grafik Korelasi Tegangan- Regangan

(Sumber: Setiawan, 2008)



Gambar 3.6 Daerah Grafik Tegangan-Regangan

(Sumber: Setiawan, 2008)

Hasil uji tarik baja yang ditunjukkan oleh Gambar 3.5 serta 3.6 merupakan hasil pengujian tarik yang diuji pada suhu udara rata-rata ruangan dengan laju regangan normal. Hasil tegangan nominal (f) dari pengujian diletakkan di sumbu vertikal dan untuk regangan (ϵ) diletakkan pada sumbu horizontal. Gambar 3.5 menunjukkan benda uji baja yang ditarik melebihi batas maksimum sehingga terjadi keruntuhan dan Gambar 3.6 memperlihatkan hasil pengujian baja yang memperoleh regangan kurang lebih 2% dengan lebih jelas.

Berikut merupakan beberapa poin penting yang terdapat dalam kurva tegangan-regangan diatas :

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

3.1.3 Damdex

Admixture atau bahan tambah dapat ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat pengadukan berlangsung. Bahan ini bertujuan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik beton. 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 tahan 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.

3.2 Pembuatan Beton

Mix Design adalah metode merencanakan serta menentukan material yang akan digunakan serta proporsi relatif untuk membuat beton dengan daya tahan dan kekuatan tertentu serta efisien dari segi ekonomis. *Mix design* yang dilakukan menggunakan rujukan SNI 03-2843-2000. Berikut urutan pembuatan *mix design*.

1. Kuat tekan rencana

Berikut merupakan rumus yang dapat digunakan untuk menghitung kuat tekan rencana rata-rata.

$$f_{cr} = f_{c'} + M \quad (3.12)$$

dimana:

$$M = 1,64 \times S_r \quad (3.13)$$

dengan:

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

$f_{c'}$ = kuat tekan rencana (Mpa)

M = nilai tambah

1,64 = tetapan statistik

S_r = deviasi standar rencana

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

Tabel 3.1 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Lihat butir 4.2.3.1 1) (5)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

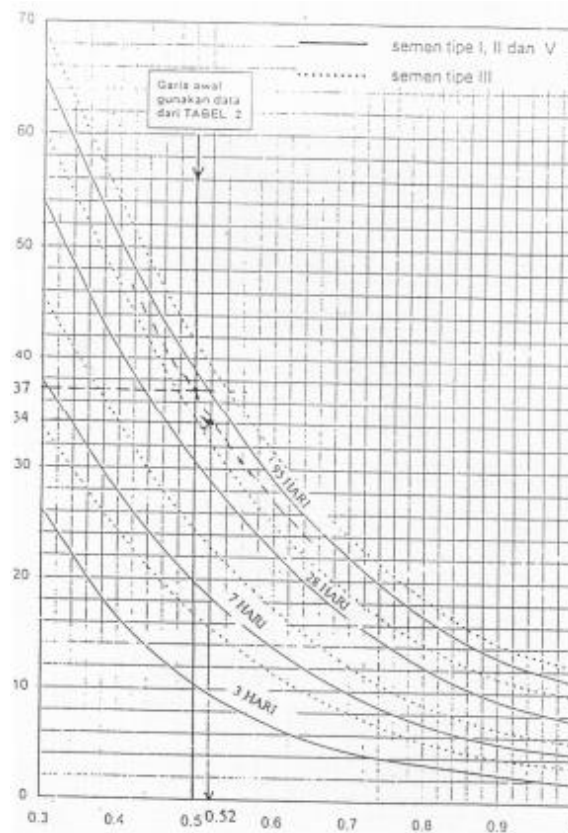
2. Faktor Air Semen

Berikut merupakan Tabel 3.2 dan gambar 3.7 yang dapat digunakan untuk menentukan hubungan antara FAS dan kuat tekan beton

Tabel 3.2 Estimasi Kuat Tekan

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

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 3.7 Kurva Korelasi Kuat Tekan dan FAS

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

3. Kadar air bebas

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

$$\text{Kadar air bebas} = 0,667 W_h + 0,667 W_k \quad (3.14)$$

Keterangan:

W_k = Asumsi kuantitas air bagi agregat kasar

W_h = Asumsi kuantitas air bagi agregat halus

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

Tabel 3.3 Asumsi Kadar Air Bebas (kg/cm^3)

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

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

4. Kadar semen

Berikut merupakan rumus yang dapat digunakan untuk menentukan kadar semen.

$$\text{Kadar semen} = \frac{\text{kadar air bebas}}{\text{FAS}} \quad (3.15)$$

Lalu, jumlah semen minimum dan FAS maksimum harus ditentukan. Jika terjadi perubahan terhadap jumlah semen menjadi tidak lebih dari jumlah minimal

ataupun tidak kurang dari jumlah maksimal, maka FAS wajib dihitung kembali. Berikut merupakan Tabel 3.4 yang dapat digunakan untuk menentukan syarat dari jumlah semen minimum dan FAS maksimum.

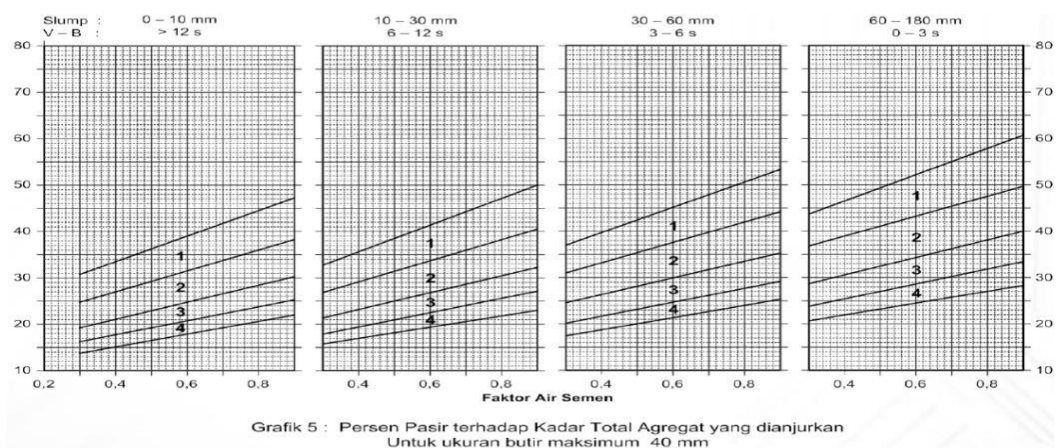
Tabel 3.4 Syarat Minimum kuantitas Semen beserta Maksimum FAS

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

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

5. Kadar agregat halus

Dalam mengamati gradasi agregat halus dan menghitung persentasinya dari kadarnya dapat menggunakan data nilai *slump* dan nilai FAS. Berikut merupakan Gambar 3.8 yang dapat digunakan untuk menentukan nilai persentase dari agregat halus.

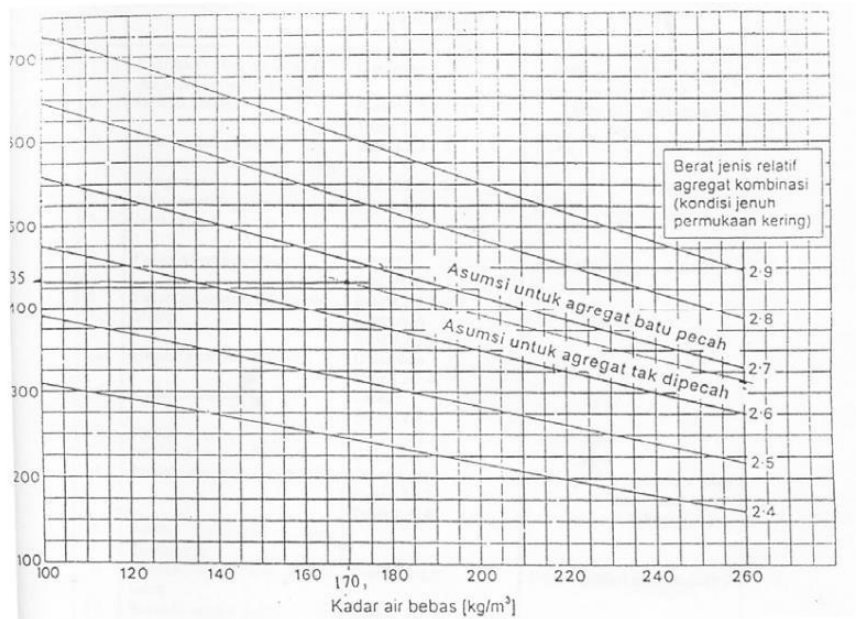


Gambar 3.8 Grafik Persentase Agregat Halus

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

6. Berat isi beton

Berikut merupakan Gambar 3.9 yang dapat digunakan untuk menentukan berat isi beton yang sesuai dengan agregat gabungan yang terdiri berat jenis relatif dan kadar air bebas.



Gambar 3.9 Grafik Berat Isi Beton

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

7. Komposisi Material

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

3.3 Sambungan Lewatan (*Lap Splice*)

Sambungan lewatan atau sering disebut juga *lap splice* adalah metode penyambungan tulangan baja dengan cara tumpang tindih (*overlap*) secara terpisah maupun saling bersinggungan (Wang dan Salmon, 1993:207). Menurut SNI 03-2847-2013, pengaplikasian dari sambungan lewatan dilarang dipasang pada

tulangan baja yang mempunyai diameter 36 mm atau lebih dari itu, kecuali pada pondasi telapak yang terpasang tulangan tekan dan pada sambungan tulangan yang memiliki ulir.

Menurut SNI 2847:2019, kombinasi beban terfaktor wajib diikutsertakan pada persyaratan sambungan tulangan. Ketentuan sambungan lewatan yang menopang gaya tekan yakni mempunyai nilai kuat tarik minimal 25% dari f_y . Sehingga apabila beban terfaktor adalah gaya tekan yang terjadi pada tulangan maka dari itu sambungan lewatan yang mengalami tekan diperbolehkan untuk dikurangi, tetapi sambungan lewatan tersebut harus memiliki panjang lebih dari 300 mm.

Sambungan lewatan sendiri terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

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

Berdasarkan persyaratan pada pasal 25.2.1, disyaratkan bahwa sambungan lewatan kontak non prategang memiliki letak yang sebaris dan horizontal serta mempunyai spasi bersih yang lebih dari nilai paling besar antara $1,333d_{agg}$, 2,5 cm, dan d_b

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

Berdasarkan persyaratan pada pasal 25.5.1.3, disyaratkan bahwa sambungan lewatan non kontak yang berada pada komponen lentur tidak diperbolehkan memiliki spasi antara pusat arah melintang dengan nilai 150 mm dan 20% dari panjang yang dimiliki sambungan lewatan

Panjang penyaluran (ℓ_d) dipakai untuk memperoleh panjang dari lewatan yang didasari nilai tegangan leleh, disebabkan konfigurasi tulangan yang berlebihan pada posisi terpasangnya sambungan lewatan akan berakibat pada nilai faktor untuk nilai A_s akan berlebihan sehingga dilarang diterapkan. Panjang sambungan dari kawat ulir dan lewatan batang ulir dalam keadaan tarik wajib memenuhi ketentuan pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6.

Tabel 3.5 Panjang Sambungan Lewatan Saat Keadaan Tarik
Berdasarkan Klasifikasi Kelas

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

(Sumber: SNI 2847:2019)

Tabel 3.6 Panjang Penyaluran Saat Keadaan Tarik Berdasarkan Diameter

Spasi dan selimut	Batang D19 dan yang lebih kecil dan kawat ulir	Batang D22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang atau kawat yang disalurkan atau disambung lewatkan tidak kurang dari d_b , selimut beton paling sedikit d_b , dan sengkang atau sengkang ikat sepanjang 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)

Untuk penggunaan faktor modifikasi yang telah ditentukan di SNI 2847:2019 pasal 25.4.2.4 terletak pada tabel 3.7.

Tabel 3.7 Faktor Modifikasi Panjang Penyaluran Tulangan Ulir

Faktor modifikasi	Kondisi	Faktor
Beton ringan λ	Beton ringan	0,75
	Beton ringan, bila f_{cr} 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)

Berdasarkan SNI 2847:2019, terdapat beberapa metode dalam memperkirakan panjang penyaluran, salah satunya adalah dengan persamaan 3.16 berikut ini :

$$\ell_d = \left(\frac{f_y W_t W_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \quad (3.16)$$

Atau dapat juga memakai persamaan umum panjang penyaluran dengan persamaan 3.17 menurut pasal 25.4.2.3 yang memuat untuk kawat ulir dan batang ulir, sehingga ℓ_d dapat diketahui melalui rumus berikut :

$$\ell_d = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s}{\left(\frac{C_b + K_{tr}}{d_b}\right)} \right) d_b \quad (3.17)$$

Keterangan:

C_b = Jarak terdekat permukaan beton dari titik tengah tulangan beserta $\frac{1}{2}$ dari spasi titik tengah ke titik tengah tulangan yang disalurkan

d_b = Diameter tulangan (mm)

ℓ_d = Panjang penyaluran (mm)

f_y = Kuat leleh tulangan (Mpa)

f'_c = Kuat tekan beton (Mpa)

Sebagai tambahan yaitu, $\left(\frac{C_b + K_{tr}}{d_b}\right)$ harus kurang dari 2,5 dan

$$K_{tr} = \frac{40A_{tr}}{sn} \quad (3.18)$$

Akibat dari adanya syarat terhadap sambungan lewatan yang berada pada kondisi tarik adalah semakin jauhnya sambungan lewatan dari area yang mempunyai tegangan tarik tinggi ke posisi tulangan terpakai. Jika ada tulangan yang disambung dengan tulangan lain yang mempunyai ukuran lain, maka ℓ_{st} dari sambungan lewatan tersebut wajib mempunyai nilai yang tidak kurang dari ℓ_d pada area yang mengalami keadaan tarik.

3.4 Sambungan Mekanis Clamp (*Clamp Mechanical Connection*)

Konsep awal dari sambungan mekanis dalam tulangan adalah *off set mechanical* dan *in line mechanical*. *Off set mechanical* adalah metode seperti sambungan lewatan, sedangkan *in line mechanical* adalah metode menyambungkan

ujung tulangan dengan ujung yang lain. Sambungan mekanis dan lewatan dalam pelaksanaannya sudah diatur dalam SNI 2847:2019, yaitu sebagai berikut:

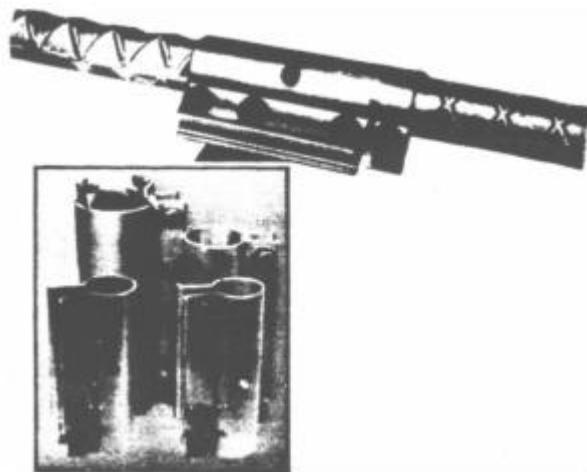
1. Sambungan las tumpul, sambungan mekanis, sambungan lewatan, serta sambungan tumpuan ujung diperbolehkan. (pasal 10.7.5.1.1)
2. Tulangan nonprategang dan sambungan mekanis yang akan menopang gaya tarik dari momen wajib diposisikan berada dipinggir diafragma yang akan mengalami gaya tarik, yang mana h merupakan tinggi dari diafragma. Ketika terjadi perubahan tinggi diafragma pada sepanjang bentang, sehingga diperbolehkan meneruskan tulangan menuju bagian diafragma terdekat dan diluar batasan $0,25h$.

Kemudian, berdasarkan ACI 439.3R-91 tentang sambungan mekanis terbagi menjadi beberapa tipe, sebagai berikut:

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

Gaya tekan dipindahkan dari tepi yang satu ke tepi tulangan lain yang masih terletak pada garis yang sama. Berikut merupakan jenis dari sambungan mekanis tegangan tekan, yaitu:

- a) *Solid-Type Steel Coupling Sleeve*



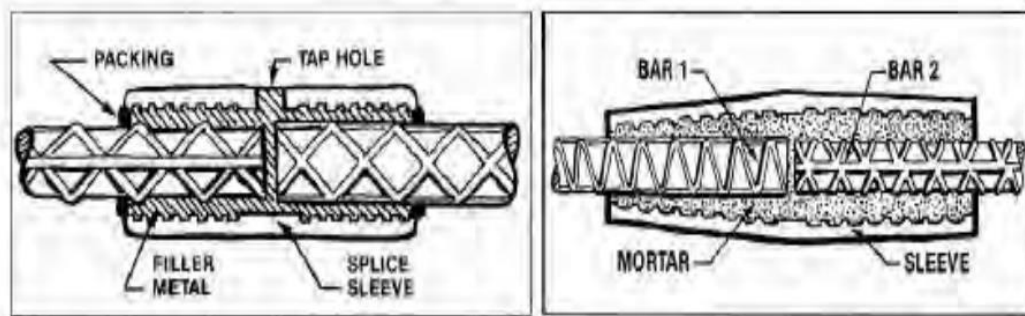
Gambar 3.10 *Solid-Type Steel Coupling Sleeve*

(Sumber: ACI 439.34-91)

Penggabungan dua batang tulangan dengan selongsong berbentuk tabung yang mempunyai sayap terpisah berlubang dengan fungsi sebagai wadah

untuk menancapkan baut pengencang untuk mengunci sayapnya, sehingga *coupling sleeve* dapat menggenggam kedua batang tulangan. Panjang lengan penghubung (*Coupling sleeve*) adalah antara memiliki 203 mm sampai 305 mm. Untuk pengaturan jarak baut dapat diatur dari jarak 5 cm atau lebih agar memperoleh efisiensi terbaik.

b) *Steel-Filled Coupling Sleeve*

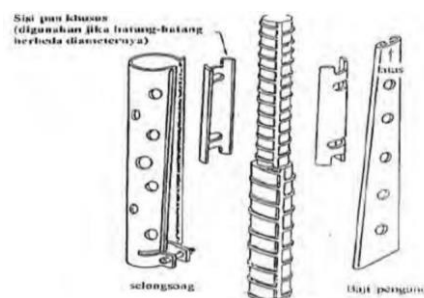


Gambar 3.11 Steel-Filled Coupling Sleeve

(Sumber: ACI 439.3R-91)

Batang tulangan dapat memasuki sambungan ini melalui lubang yang didesain berada pada tengah dari sambungan. kemudian sambungan diisi logam yang cair, lalu sambungan ditekan dengan batang tulangan yang akan disambung logam cair itu mengisi sambungan dari setiap sela dari batang tulangan sepanjang sambungan. Sambungan ini mempunyai beberapa kekurangan seperti *buckling*, butuh waktu beberapa jam agar terbentuk, tidak tahan terhadap panas, dan sulit melakukan kontrol kualitas dan kuantitas secara langsung terhadap.

c) *Wedge-Locking Coupling Sleeve*



Gambar 3.12 Wedge-Locking Coupling Sleeve

(Sumber: ACI 439.3R-91)

Sambungan tipe ini berupa tabung yang memiliki sayap pada tiap-tiap sisinya serta sepanjang lengannya berbeda diameter ujung satu dengan yang lainnya yang semakin mengerucut. Sambungan ini dapat menghubungkan dua tulangan dengan diameter yang berbeda. Metode pemasangan sambungan ini dengan cara menjepit secara lateral kemudian dikencangkan dengan baut serta memasukkan baji ke silinder untuk mengencangkan sambungan.

d) *Strap-Type Steel Coupling Sleeve*



Gambar 3.13 *Strap-Type Steel Coupling Sleeve*

(Sumber: ACI 439.3R-91)

Tipe Sambungan ini memiliki 2 komponen, yaitu yang pertama adalah separuh tabung dengan sayap di setiap sisinya, kemudian bagian lain adalah slot-slot yang dipasang pada lengan penghubung, serta terdapat klip L yang dipasang ke tulangan lain sedangkan pada sayap lain dikencangkan dengan baut. Ketentuan untuk sambungan ini paling tidak memiliki lengan dengan panjang 30,5 cm.

2. Sambungan Mekanis Tegangan Tarik

Tipe sambungan ini diimplementasikan dalam kondisi tegangan tarik pada tulangan baja contohnya seperti tulangan lentur. Berikut merupakan beberapa tipe dari sambungan mekanis tegangan tarik:

a) *Steel Coupling Sleeve with Wedge*

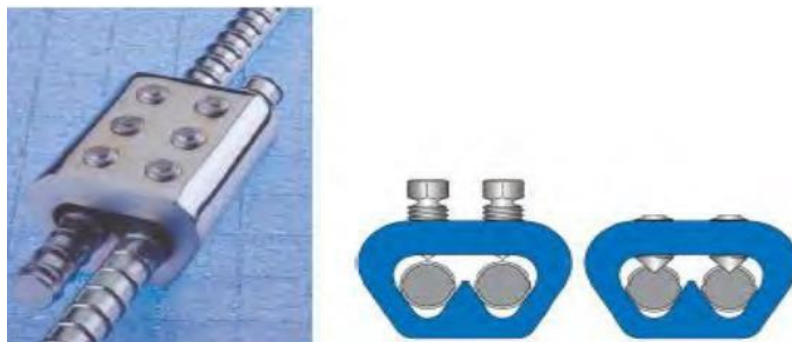


Gambar 3.14 *Steel Coupling Sleeve with Wedge*

(Sumber: ACI 439.3R-91)

Sambungan jenis ini mempunyai penyambung berbentuk oval serta baji yang dimasukkan ke rongga atas dari penyambung kemudian ditekan melalui tulangan yang dipasang sambungan. Baji dipasang dengan pengencang hidrolis untuk menekan penyambung agar tulangan terpasang secara *overlapping*. Tipe sambungan ini hanya bisa menyambungkan baja tulangan dengan diameter 3mm sampai dengan 7 mm dengan satu baji. *Steel Coupling Sleeve with Wedge* sederhana dalam penggunaannya dan tidak tergantung cuaca.

b) *Bar Splice Double Barrel*



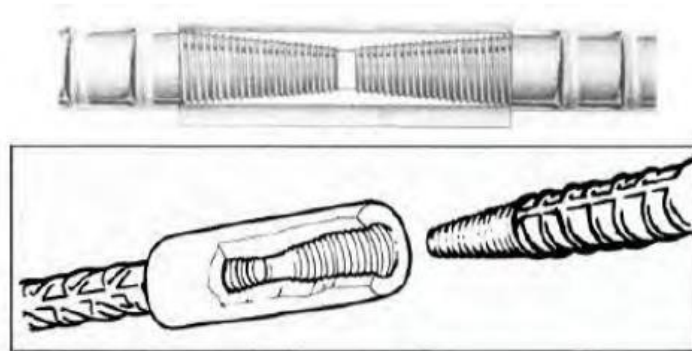
Gambar 3.15 *Bar Splice Double Barrel*

(Sumber: ACI 439.3R-91)

Sambungan jenis ini terbentuk melalui beberapa sekrup dan satu lengan penghubung. Cara pemasangan sambungan ini dengan memasukan baja tulangan secara *overlap* ke dalam lengan, lalu sekrup dipasang dan dikencangkan secara menekan. Efek saling mengunci disebabkan oleh kekuatan pengencangan sekrup dan diharapkan penyaluran tegangan berlangsung. Sambungan ini mempunyai kelebihan bisa meningkatkan kinerja tegangan leleh tulangan yang dipasang sambungan hingga 1,25 kali lebih tinggi dan bisa menyambungkan tulangan yang berbeda diameternya.

3. Kombinasi Tegangan Tarik-Tekan

a) *Taper-Threaded Steel Coupler*

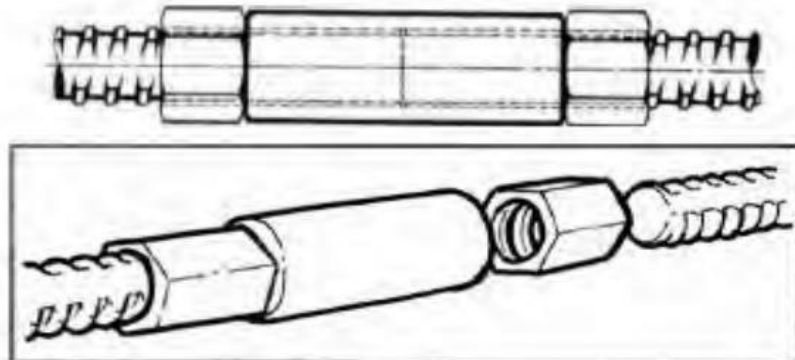


Gambar 3.16 *Taper-Threaded Steel Coupler*

(Sumber: ACI 439.3R-91)

Sambungan jenis ini mempunyai ulir internal yang lancip sehingga ujung batang tulangan wajib selaras dengan ulir yang meruncing. Kunci pas torsi dan kunci pipa dan bisa dipakai dalam proses pemutaran sambungan, pengecekan kekencangan, dan penguncian. Sambungan tipe ini bisa menghubungkan tulangan yang memiliki diameter 14 mm sampai dengan 18 mm dengan torsi minimum berada di 200 ft lbs.

b) *Coupler for Thread-Deformed Reinforcing Bars*



Gambar 3.17 *Coupler for Thread-Deformed Reinforcing Bars*

(Sumber: ACI 439.3R-91)

Sambungan tipe ini dipasang dengan memutar torsi. Proses pemutaran dapat menggunakan kunci pas torsi hidrolik sebagai alat bantu. Torsi untuk tulangan berdiameter 6 mm - 11 mm berkisar 203Nm -1016 Nm dan untuk tulangan berdiameter 14 mm -18 mm berkisar 2032Nm - 4056 Nm. Tulangan yang mempunyai diameter lain mampu disambungkan juga.

c) *Cold-Swaged Steel Coupling Sleeve*

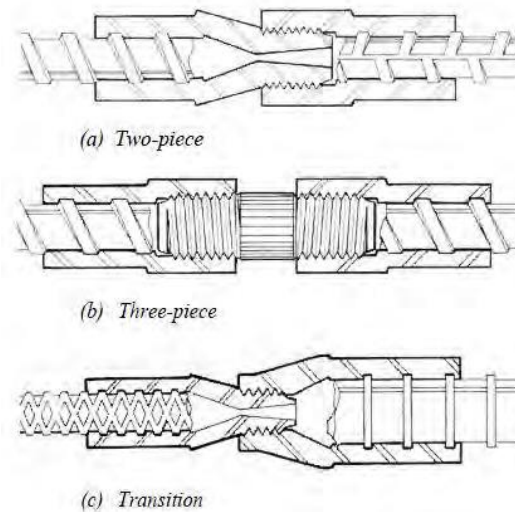


Gambar 3.18 *Cold-Swaged Steel Coupling Sleeve*

(Sumber: ACI 439.3R-91)

Sambungan tipe ini memiliki penghubung terbuat dari baja untuk memasukkan dua tulangan agar tersambung. Sambungan ini dapat disambung tulangan baja berdiameter 3 mm – 18 mm. Untuk pemasangan menggunakan pengencang hidrolik.

d) *Cold-Swaged Steel Coupling Sleeves with Threaded Ends*



Gambar 3.19 *Cold-Swaged Steel Coupling Sleeves with Threaded Ends*

(Sumber: ACI 439.3R-91)

Sambungan tipe ini memiliki penghubung yang berulir di dalam dan luar. Untuk pemasangannya dilakukan penekanan pada penghubung, laalu dipotong pada penghubung. Tipe ini dapat dipasang pada tulangan baja berdiameter 3 mm – 18 mm dengan diameter ukuran yang berbeda-beda.

3.5 Keretakan Pada Balok

Retakan pada benda uji balok mengartikan bahwa tegangan yang terjadi akan berbanding lurus dengan lebar dari celah retak pada tulangan baja yang mengalami tarik serta terjadi pada beton sesuai ketebalan selimut beton tersebut. Retak pada balok kemungkinan besar akan selalu terjadi dan sulit dihambat, tetapi bisa diantisipasi atau dicegah dengan cara menyalurkan atau mengedarkan tulangan. Menurut MacCormac (2001) terdapat lima jenis pola retak, yaitu :

1. Retak Lentur

Retak lentur terjadi secara vertikal memanjang dimulai dari daerah tarik menuju daerah tekan dan berakhir di sumbu netral.

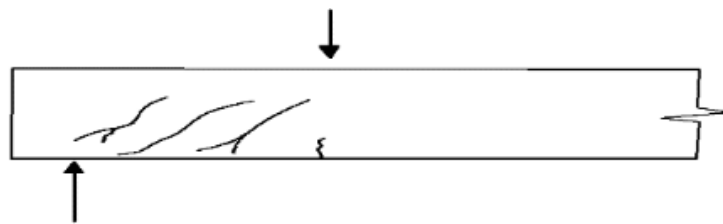


Gambar 3.20 Ilustrasi Retak Lentur

(Sumber: Kholilul, 2009)

2. Retak geser

Retak geser terbentuk karena balok tidak mampu menahan gaya geser yang sangat besar pada area tumpuan atau ujung balok. Retak ini membentuk pola retak miring dan dapat terjadi pada bagian badan secara bebas terbentuk maupun perpanjangan dari retak lentur.

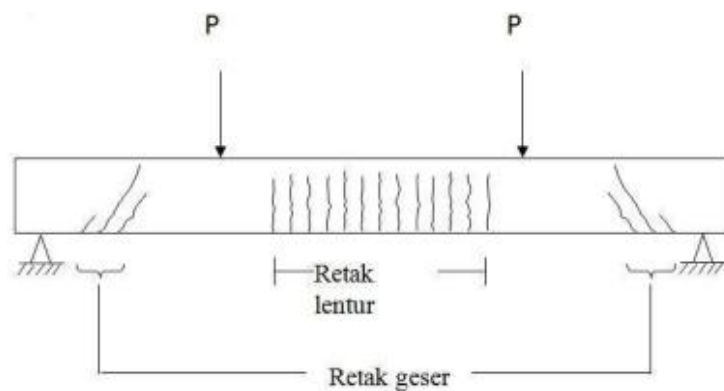


Gambar 3.21 Ilustrasi Retak Geser

(Sumber: Kholilul, 2009)

3. Retak Geser Lentur

Retak ini sering terjadi pada balok serta disebabkan oleh gabungan antara retak lentur dengan retak geser.

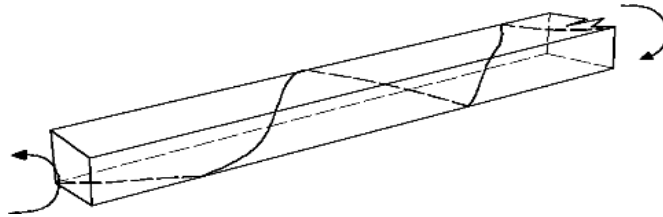


Gambar 3.22 Ilustrasi Retak Geser Lentur

(Sumber: Kholilul, 2009)

4. Retak Puntir

Retak puntir terjadi dengan arah melingkar pada balok beton yang disebabkan karena tidak adanya tulangan yang menerima torsi sehingga terjadi retakan dan runtuh sebesar 45 derajat akibat tarikan diagonal yang disebabkan tegangan puntir.

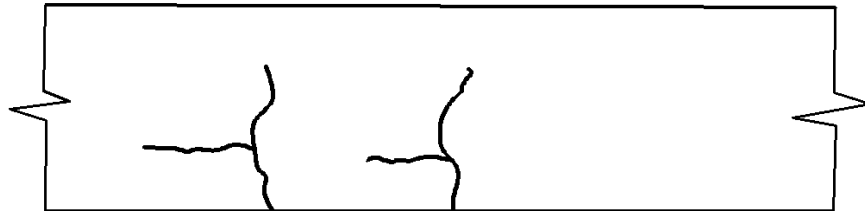


Gambar 3.23 Ilustrasi Retak Puntir

(Sumber: Kholilul, 2009)

5. Retak Lekatan

Keretakan ini terjadi akibat tegangan lekatan dari beton dan tulangan yang berakibat keretakan pada sepanjang tulangan.



Gambar 3.23 Ilustrasi Retak Lekatan

(Sumber: Kholilul, 2009)

3.6 Keruntuhan Pada Balok

Keruntuhan pada balok beton disebabkan karena sifat dari penampang balok beton itu sendiri. Keruntuhan balok beton bertulang dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu (Triand Y, 2015) :

1. Keruntuhan Tekan

Jenis ini terjadi apabila beton mengalami kehancuran sesaat sebelum tulangan baja dari balok itu mengalami leleh. Hal ini bisa terjadi

karena balok tersebut yang memiliki rasio tulangan yang bernilai besar sehingga jika balok tersebut mengalami beban yang terjadi secara maksimal dan tulangan baja itu belum berhasil sampai regangan lelehnya, namun beton sudah sampai dititik regangan maksimal.

Keruntuhan jenis ini bersifat getas, yang artinya beton akan runtuh sedangkan tulangan masih belum leleh serta balok masih tetap melendut. Apabila beban terus ditambah, tulangan pada balok akan mulai mencapai titik lelehnya sehingga akan seketika terjadi keruntuhan karena balok tidak mengalami lendutan yang bernilai besar.

2. Keruntuhan Seimbang

Keruntuhan seimbang terjadi ketika terdapat beban yang bernilai maksimal sehingga beton dan tulangan akan hancur atau runtuh secara bersama-sama, artinya nilai regangan tekan pada material beton bernilai maksimal sebesar 0,03 dan regangan tarik pada baja akan sampai pada keadaan leleh bersamaan dengan hancurnya beton.

Kondisi keruntuhan seimbang merupakan kondisi balok beton bertulang dengan performa kedua material tersebut yang maksimal sehingga menjadi lebih efisien.

3. Keruntuhan Tarik (*under reinforced concrete*)

Keruntuhan tarik adalah kondisi berlawanan dari keruntuhan tekan karena dalam kondisi ini baja tulangan sudah leleh sebelum beton hancur, yang disebabkan karena baja tulangan memiliki rasio tulangan yang kecil, yang berdampak beban bernilai tinggi sehingga tulangan akan leleh sedangkan beton belum mencapai regangan maksimum.

Dalam kondisi keruntuhan tarik, akan terjadi lendutan dan keretakan pada balok yang menjadi pertanda akan terjadi keruntuhan suatu saat nanti, sehingga ketika baja tulangan sudah dalam kondisi leleh, beton masih kuat untuk menahan beban dan mampu memberikan lendutan.

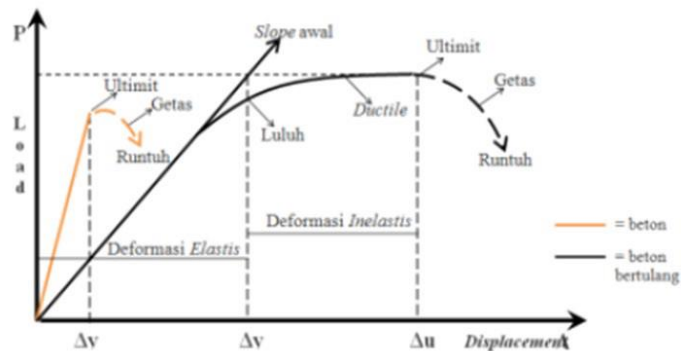
Balok akan runtuh apabila mendapatkan tambahan beban sehingga lendutan semakin besar.

3.7 Daktilitas Balok

3.7.1 Konsep Daktilitas

Pada SNI 03-1726-2002 pasal 3.12 serta 3.13, daktilitas merupakan kemampuan dan kinerja dari gedung bertingkat untuk terjadinya simpangan pasca-elastik yang sangat tinggi dan terjadi secara menerus akibat aktivitas gempa diatas beban gempa akan membuat munculnya pelelehan awal, sembari menjaga kekakuan serta kekuatan agar struktur dari bangunan bertingkat dapat terus kokoh, meskipun sedang berada di situasi akan hancur atau runtuh. Dengan kata lain daktilitas dapat menahan respon inelastik, lendutan yang besar serta dapat menyerap energi sehingga struktur dapat mengalami lendutan yang besar tanpa terjadinya penurunan kekuatan secara signifikan. Saat gempa terjadi, struktur yang daktilitasnya tinggi dapat menerima energi dari gempa yang nilainya sangat besar daripada struktur getas. Daktilitas merupakan karakter dasar dari elemen yang wajib dicermati dan diperhitungkan ketika sebuah struktur gedung akan dibangun sehingga dapat menjadi ketentuan kelayakan untuk mengontrol kerusakan pada struktur yang dibangun (Punmia, 2007).

Sedangkan, daktilitas yang terdapat pada balok beton bertulang ialah perbandingan kriteria atau tolak ukur dari perubahan bentuk dan ukuran struktur tersebut saat mulai runtuh dengan kriteria perubahan bentuk dan ukuran saat tulangan yang menahan tarik dari sisi paling luar penampang mencapai titik leleh. Kriteria yang dipakai dalam menentukan daktilitas suatu bahan disebut faktor daktilitas (μ). Berikut grafik hubungan antara beban dan lendutan pada balok beton di Gambar 3.24



Gambar 3.24 Perilaku beban dan lendutan pada beton

(Sumber : Punmia, 2007)

Dalam menetapkan nilai daktilitas balok beton bertulang, maka dilakukan dengan membandingkan nilai defleksi atau penyimpangan saat leleh pertama dengan defleksi ultimit pada balok (Lianasari, A. E & Siahaan, R. P 2019).

Daktilitas pada balok (μ) dapat dirumuskan :

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} \quad (3.19)$$

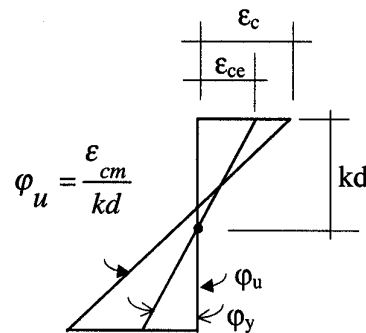
Keterangan :

μ = Faktor Daktilitas

Δu = Lendutan Ultimit (mm)

Δy = Lendutan Sewaktu Leleh (mm)

Elemen struktur dikatakan daktil apabila mampu menjaga nilai momen kapasitas sebanyak mungkin saat memperoleh faktor daktilitas yang didesain sejak awal. Daktilitas elemen beton bertulang dinyatakan dengan daktilitas kurvatur.



Gambar 3.25 Diagram tegangan-regangan pada kurvatur saat leleh dan ultimit

(Sumber : B. Sabariman, 2004)

Balok beton bertulang yang diproduksi dengan beton konvensional bermutu tinggi serta memiliki persyaratan struktur yang tahan terhadap aktivitas gempa, wajib hukumnya memperhitungkan daktilitas dan kuat lenturnya (Kwan, Ho et al, 2002). Dari segi keamanan, daktilitas juga memiliki peranan sama seperti kekuatan struktur. Daktilitas yang bermutu baik membuat balok beton yang dapat stabil saat terdapat beban berlebih pada struktur maupun saat ada gempa bumi. Setelah ditambahkan beban tertentu, maka elemen balok beton akan terbentuk keretakan karena regangan tulangan tarik yang besar. Elemen balok beton dapat inelastik dan dapat juga relatif kecil, tetapi balok beton wajib bersifat daktil. Secara teori semakin tinggi nilai daktilitas maka berbanding lurus dengan kinerja balok saat menahan beban. Daktilitas bisa diperhitungkan dari sisi lendutan (*displacement*), dan lengkungan (*curvature*), serta tegangan (*strain*). Menurut Paulay dan Priestly (1992), daktilitas dibagi beberapa kategori, yaitu sebagai berikut:

1. Daktilitas Regangan

Daktilitas regangan ada di setiap material konstruksi yang dipakai. Daktilitas ini memiliki peranan penting pada bagian-bagian struktur dengan panjang tertentu. Jika tegangan inelastik ditentukan sedemikian rupa hingga bentang dari panjang tersebut pendek, sehingga akan berakibat maka pada nilai daktilitas regangan yang bertambah besar.

Daktilitas regangan bisa disederhanakan dengan rumus dibawah ini:

$$\mu\varepsilon = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} \quad (3.20)$$

Keterangan :

$\mu\varepsilon$ = daktilitas regangan

ε_u = regangan ultimit

ε_y = regangan leleh

2. Daktilitas Lengkungan

Biasanya lendutan pada struktur yang bersifat inelastis terjadi karena seringnya rotasi pada sambungan plastis, yang sangat bermanfaat untuk menyatukan rotasi per unit panjang dengan *Bending Moment* pada tepi elemen balok. Daktilitas lengkungan akan bernilai maksimal sesuai Persamaan 3.21 dibawah ini :

$$\mu\varphi = \frac{\varphi_u}{\varphi_y} \quad (3.21)$$

Keterangan :

$\mu\varphi$ = daktilitas lengkungan

φ_y = kelengkungan leleh

φ_u = kelengkungan ultimit

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

Daktilitas simpangan atau perpindahan merupakan perbandingan antara simpangan ketika terjadi leleh dan simpangan ultimit. Daktilitas simpangan bisa dilihat melalui persamaan 3.22 dibawah ini.

$$\mu\delta = \frac{\delta u}{\delta y} \quad (3.22)$$

Keterangan :

$\mu\delta$ = daktilitas simpangan

δy = simpangan leleh

δu = simpangan ultimit

3.7.2 Konsep Daktilitas

Berdasarkan SNI 03-1726-2002, daktilitas terbagi atas tiga tingkatan, yaitu daktilitas penuh, daktilitas terbatas dan daktilitas elastik penuh yang mempunyai nilai rincian yang berada di Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Tingkat Daktilitas

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

(Sumber : SNI-1726-2002)

Dari tabel 3.8 diatas, dapat diklasifikasikan dengan definisi sebagai berikut:

1. Daktilitas penuh merupakan kondisi suatu elemen dari struktur yang terjadi simpangan pasca-elastik disaat akan terjadi keruntuhan terbesar dengan nilai daktilitas yaitu 5,3

2. Daktilitas parsial atau terbatas merupakan kondisi suatu struktur yang mengalami elastik penuh yang bernilai 1,5 serta bagi struktur daktail penuh akan bernilai 5,0
3. Daktilitas elastik penuh merupakan level daktilitas dengan nilai daktilitas yaitu 1,0 .

3.8 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah perkiraan matematis dari jumlah biaya yang harus dikeluarkan untuk bahan material dan upah bagi pekerja beserta biaya-biaya lain yang memiliki sangkut paut dengan pelaksanaan proyek pembangunan (Firmansyah, 2011). Sedangkan, Menurut Ibrahim (1993), rencana anggaran biaya suatu proyek adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek tersebut. Sebelum adanya tender proyek, biasanya dibuatlah rencana anggaran biaya yang bertujuan mengetahui perkiraan bentuk serta jumlah biaya barang dan jasa yang akan dikeluarkan sehingga tidak akan mengecewakan di masa depan (Suherman, 2010).

Berdasarkan pendapat-pendapat diatas bisa disimpulkan bahwa Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah perhitungan atau estimasi jumlah nominal anggaran biaya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan konstruksi. Rencana Anggaran Biaya ini bertujuan untuk mengetahui jumlah biaya yang dibutuhkan, mengontrol pengeluaran dari suatu pekerjaan, mencegah keterlambatan pekerjaan, dan meminimalisir pengeluaran biaya yang tidak diperlukan.

Biaya dalam RAB memiliki makna yaitu total dari setiap hasil perkalian antara harga satuan pekerjaan dengan volume pekerjaan. Anggaran biaya suatu proyek struktur harus diperhitungkan dengan sangat teliti dan tepat sehingga bisa memenuhi ketentuan yang diajukan. Anggaran biaya suatu proyek yang berjenis sama, tetap akan mempunyai perbedaan harga upah pekerja dan material karena perbedaan administrasi dan rantai pasok suatu daerah.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian merupakan langkah-langkah atau tahapan yang harus ditempuh dengan maksud agar dapat mengumpulkan data-data yang diperlukan dalam penelitian yang kemudian data tersebut diinvestigasi lebih lanjut. Metode penelitian menggambarkan rancangan penelitian seperti prosedur yang harus ditempuh, sumber data, alat dan bahan penelitian yang selanjutnya dianalisis untuk mencapai tujuan tugas akhir ini. Metode penelitian wajib dilakukan dengan terstruktur dan melalui tahapan yang jelas serta teratur sehingga hasil penelitian yang diperoleh dapat memuaskan serta hasil dari penelitian yang dilakukan bisa dipertanggungjawabkan melalui metode dan forum ilmiah. Metode penelitian ini akan mengurutkan tahap-tahap pelaksanaan penelitian tugas akhir dengan urutan dan rinci.

Metode penelitian yang diterapkan pada Tugas Akhir penulis ialah metode eksperimental. Penelitian eksperimental adalah penelitian yang dilakukan dengan pendekatan saintifik dengan menggunakan dua atau lebih variabel yang antar variabel akan dibandingkan hasilnya, kemudian dianalisis. Metode penelitian eksperimental adalah metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap objek yang satu dengan objek lain dalam lingkungan yang terkontrol (Sugiyono, 2017).

4.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan sesuatu yang dapat diobservasi oleh pengamat yang menjadi identitas atau karakter tertentu dari sekumpulan objek. Tujuan dari variabel tersebut adalah terjadinya variasi antara objek

yang satu dengan objek yang lainnya dalam kelompok tertentu. (Sugiarto, 2017).

Dalam penelitian ini terdapat dua variabel, yaitu sebagai berikut :

1. Variabel bebas (*independent variable*) adalah variabel yang mempengaruhi atau penyebab perubahan dari adanya suatu variabel dependen (terikat) serta tidak berpengaruh apapun pada variabel lainnya. Variabel bebas pada penelitian ini adalah pemakaian sambungan tulangan lewatan dan sambungan tulangan *clamp*.
2. Variabel terikat (*dependent variable*) adalah variabel yang dipengaruhi akibat adanya variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah nilai kuat tekan (f'_c) beton, diameter tulangan baja, dan nilai kuat tarik baja tulangan.

4.3 Metode Pengumpulan Data

Penghimpunan data primer dan sekunder bertujuan untuk mempermudah dalam menganalisis perbandingan kekuatan lentur dari balok beton bertulang yang memakai sambungan tulangan lewatan serta sambungan tulangan mekanis jenis *clamp*.

1. Data primer

Data primer adalah data yang didapatkan dari hasil percobaan atau hasil eksperimen. Data primer meliputi data pembebanan maksimal pada setiap pengujian, durasi pembebanan, dan data berat balok beton bertulang.

2. Data sekunder

Data sekunder merupakan data yang bersumber dari studi literatur berupa buku, jurnal, ataupun arsip yang telah dipublikasi di masyarakat umum. Data sekunder yang dipakai adalah Standar Nasional Indonesia (SNI), serta jurnal-jurnal penelitian yang dapat menunjang kebutuhan ilmu pada Tugas Akhir ini.

4.4 Material yang Digunakan

Material yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain:

1. Material beton bertulang :
 - a. Agregat halus dari Sungai Progo.
 - b. Agregat Kasar.
 - b. Semen Portland Tipe 1.
 - c. Air bersumber dari laboratorium.
 - e. Baja tulangan ukuran P10 dan D13.
 - f. Tulangan untuk sengkang dengan ukuran P8.
 - g. Damdex
2. Pelat baja dengan tebal 6 mm sebagai bahan untuk *clamp*.

4.5 Alat yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. pengaduk beton.
2. Bekisting berukuran 150 x 300 x 2000 mm berbahan multiplex.
3. Neraca berkapasitas 25 kg.
4. Saringan beserta Vibratornya
5. Cetakan untuk silinder beton berdimensi 15 cm dan tinggi 30 cm
6. *Compression Testing Machine*
7. *Crane*, akan digunakan dalam pemindahan benda uji balok.
8. *Load cell* berfungsi membaca beban pada beton.
9. *Data logger* berfungsi membaca dan menampilkan data hasil pengujian.
10. Pengunci Torsi (*Torque Wrench*)
11. Alat pendukung lain seperti wadah, kuas, sekop, oven, *slump cone*, dan palu
12. Sensor LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) , yaitu sensor perpindahan yang akan mengubah posisi linear dari referensi mekanik menjadi sinyal listrik yang sebanding dengan fase dan amplitude. Sensor LVDT digunakan untuk mengukur gerakan yang sangat kecil.

4.6 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini beton normal memiliki f'_c atau kuat tekan rencana sebesar 25 Mpa, benda uji balok dengan tulangan ulir berdiameter 13 mm dengan sambungan *clamp* dan sambungan lewatan yang mempunyai $f_y = 420$ Mpa. Untuk sampel balok beton bertulang mempunyai ukuran 150 mm \times 300 mm \times 2000 mm yang jumlahnya 1 buah untuk masing-masing tipe sambungan yang berpedoman kepada SNI-2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Prosedur pelaksanaan penelitian sendiri dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan meliputi pengadaan dan pengecekan alat dan bahan yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji.

a. Agregat halus dan agregat kasar

Dalam pembuatan benda uji balok beton adalah agregat halus dan agregat kasar yang sebelumnya telah dilakukan pencucian agregat serta didiamkan hingga mencapai keadaan *Saturated Surface Dry (SSD)*, yaitu keadaan pada agregat dimana tidak terdapat air pada permukaannya,

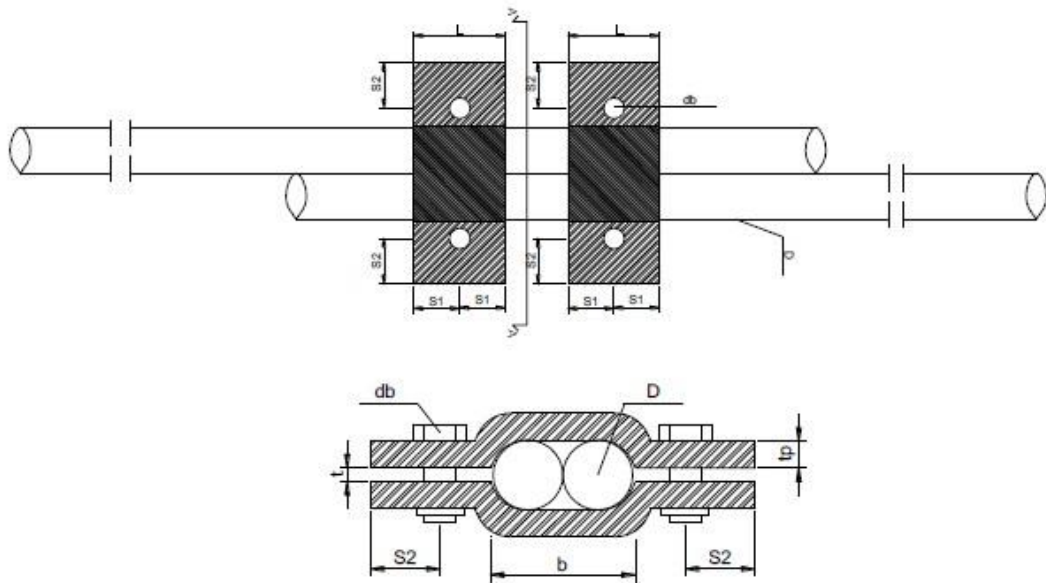
tetapi pada rongganya terisi oleh air sehingga tidak mengakibatkan penambahan maupun pengurangan kadar air dalam beton.

b. Baja tulangan

Baja tulangan yang dipakai untuk daerah tekan adalah jenis tulangan polos, serta tulangan ulir sebagai tulangan pada daerah tarik. Penelitian ini menggunakan tulangan D13 merk *Krakatao Steel* karena memiliki toleransi yang lebih sedikit dibandingkan merk lain.

c. Material Sambungan Mekanis *Clamp*

Desain *Clamp* pada penelitian ini pelat baja setebal 6 mm yang cara membentuknya ialah dengan ditekan dengan alat *Press Hidraulic*. Untuk desain *clamp* dapat dilihat di gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Sambungan Mekanis Clamp

(Sumber: Ginting, 2014)

Keterangan:

db = 8 mm

s1 = 15 mm

s2 = 20 mm



t = 3 mm

b = 26 mm

L = 30 mm

penguncian *clamp* memakai baut dengan jenis baut yang bermutu tinggi Grade 8.8 dengan tinggi 25 mm. Baut akan mencengkram sambungan *clamp* sehingga muncul tegangan

tarik pada sambungan karena adanya gaya jepit. Beban yang ditahan oleh gaya gesek adalah pelat yang dipasangkan sambungan yang disebut *Proof Load*. Baut ini akan menciptakan momen torsi jika dikencangkan sehingga tercipta kondisi prategang tarik. torsi baut untuk pengencangan bernilai 33 Nm sesuai ekuivalensi torsi baut berikut.

A325 GRADE 5				GRADE 8			
 HCCZ 325 325 Medium Carbon Steel, Quenched and Tempered				 Carbon Alloy Steel, Quenched and Tempered			
	Proof Load	Yield Strength	Tensile Strength		Proof Load	Yield Strength	Tensile Strength
1/4"-1"	85,000	92,000	120,000	120,000	130,000	150,000	
3/4" - 1-1/2"	74,000	81,000	105,000				

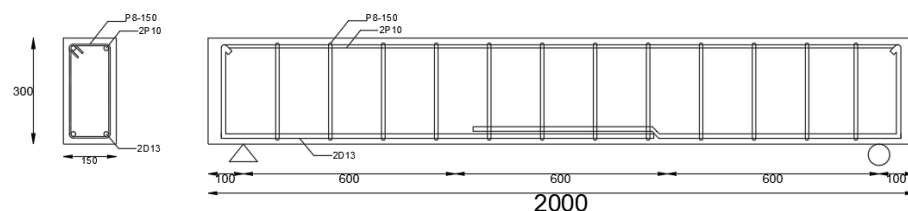
Size	Clamp Load (lb)	Assembly Torque Dry (ft lb)	Assembly Torque Lub (ft lb)	Min Tensile (lb)
1/4 - 20	2000	8	7	4450
1/4 - 28	2300	10	8	4840
5/16 - 18	3350	17	13	7190
5/16 - 24	3700	19	14	7670
3/8 - 16	4950	30	23	10530
3/8 - 24	5600	35	25	11400
1/2 - 13	9000	75	55	19000
1/2 - 20	10500	90	65	20900
5/8 - 11	14400	150	110	30100
5/8 - 18	16370	180	130	32600
3/4 - 10	21300	260	200	44200
3/4 - 16	23800	300	220	47400
7/8 - 9	29450	320	320	53100
1 - 8	38600	640	480	69500
1-1/8 - 7	42300	800	600	87800
1-1/4 - 7	53800	1120	840	110300
1-3/8 - 6	64100	1460	1100	132200
1-1/2 - 6	78000	1910	1460	159600

Size	Clamp Load (lb)	Assembly Torque Dry (ft lb)	Assembly Torque Lub (ft lb)	Min Tensile (lb)
1/4 - 20	2850	12	9	6600
1/4 - 28	3250	14	10	7200
5/16 - 18	4700	25	18	10700
5/16 - 24	5200	25	20	11500
3/8 - 16	7000	45	35	15800
3/8 - 24	7900	50	35	21600
1/2 - 13	12750	110	80	28600
1/2 - 20	14370	120	90	30800
5/8 - 11	20350	220	170	45200
5/8 - 18	23000	240	180	49000
3/4 - 10	30100	380	280	65300
3/4 - 16	33500	420	320	71100
7/8 - 9	41600	600	460	91000
1 - 8	54500	900	680	119200
1-1/8 - 7	68900	1280	960	150500
1-1/4 - 7	87200	1820	1360	189200
1-3/8 - 6	104000	2380	1780	226700
1-1/2 - 6	126500	3160	2360	273600

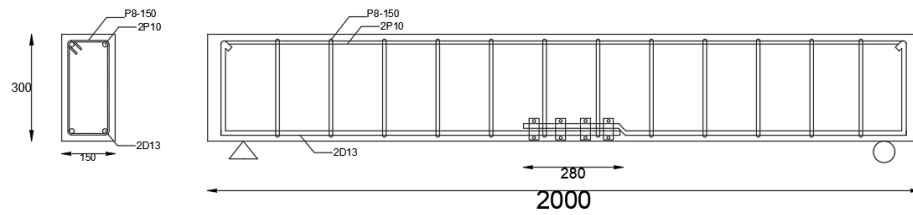
Gambar 4.2 ekuivalensi torsi baut

d. Desain Tulangan pada Balok

Berikut merupakan DED tulangan pada balok yang memakai sambungan lewatan dan sambungan *clamp* yang berada pada Gambar 4.2 dan 4.3.



Gambar 4.3 Desain Rencana Balok Sambungan Lewatan



Gambar 4.4 Desain Rencana 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.

2. Tahap Pengujian Material

Pada tahap ini dilaksanakan pemeriksaan pada tulangan baja, agregat kasar dan agregat halus, serta sambungan mekanis *clamp*.

a. Uji 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 Agregat Kasar

c. Uji Kuat Tarik Baja

Uji kuat tarik pada material tulangan dilakukan dengan alat *Universal Testing Machine*, yang bermaksud untuk memeriksa apakah nilai dari tegangan leleh beserta tegangan maksimum

sudah mendapat nilai yang diinginkan. Dengan menarik tulangan baja dapat diketahui bagaimana material baja tersebut bereaksi terhadap tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang sebelum tulangan baja tersebut patah.

3. Tahap *Mix Design*

Penentuan *trial mix design* mengacu kepada SNI-2847-2019-Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung agar mengetahui kadar setiap material penyusun campuran beton. Berikut merupakan tahapan dan data rencana campuran beton:

- a. Mutu beton $f'_c = 25 \text{ Mpa}$
- b. Semen portland tipe 1
- c. Mempersiapkan Agregat kasar dengan ukuran maksimal 20 mm
- d. Mempersiapkan Agregat halus yang berasal dari sungai progo
- e. Mempersiapkan benda uji silinder sebanyak 6 buah
- f. Menentukan faktor air semen sesuai Tabel 3.2 dan Gambar 3.7
- g. Menetapkan nilai Slump beton sebesar 70-140 mm
- h. Menentukan nilai kadar air bebas
- i. Menghitung kebutuhan 1 m^3 beton
- j. Menghitung kebutuhan agregat halus dan agregat kasar dalam presentase
- k. Menghitung Proporsi campuran beton yang diperlukan.

4. Tahap Pembuatan Benda Uji Silinder dan Balok Beton Bertulang

- a. Menyiapkan benda uji yang terdiri dari silinder beton berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 3 buah serta balok beton bertulang dengan dimensi 150 x 300 x 2000 mm

berjumlah 2 buah dengan masing-masing memiliki tipe sambungan lewatan dan sambungan *clamp*.

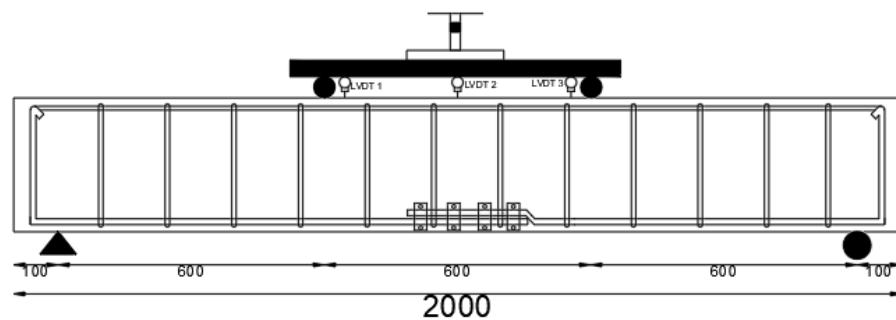
- b. Menyiapkan bekisting sesuai dimensi balok beton yang telah direncanakan
- c. Melapisi permukaan pada bagian dalam bekisting dan silinder beton dengan cairan oli atau pelumas agar memudahkan pelepasan bekisting saat pengecoran selesai.
- d. Memberi kode pada 3 benda uji silinder beton dengan kode masing-masing BS-1, BS-2, dan BS-3.
- e. Memberi kode pada dua sampel balok beton bertulang dengan kode masing-masing pada balok sambungan lewatan adalah BBL, sedangkan pada balok sambungan *clamp* adalah BBC.
- f. Merakit konfigurasi tulangan pada tiap bekisting sesuai jenis sambungannya.
- g. Meletakkan konfigurasi tulangan yang telah dirakit pada tengah bentang bekisting.
- h. Melakukan pengecoran kepada benda uji silinder beton dan sampel balok beton bertulang.

5. Tahap Perawatan Benda Uji

Setelah 3 hari, balok beton bertulang yang telah dicor akan dilepas dari bekistingnya serta melepaskan cetakan silinder beton yang berumur dua hari setelah penuangan beton segar. Setelah itu dilanjutkan perawatan benda uji dengan memakai karung goni yang dibasahi setiap harinya selama kurang lebih 15 hari.

6. Tahap Pengujian Silinder dan Balok Beton Bertulang

- a. Pengujian benda uji beton silinder menggunakan mesin *Compression Testing Machine* untuk mengetahui apakah silinder beton sudah mencapai kuat tekan rencana.
- b. Pengujian balok beton bertulang dilaksanakan dengan uji kuat lentur, yaitu metode penambahan beban monotorik pada balok menggunakan pompa hidraulik. Pengujian balok beton ini menggunakan beban vertikal terpusat ganda (*two point loads*). Berikut ilustrasi pembebanan terpusat ganda (*two point loads*) pada balok beton bertulang.



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

7. Tahap Analisis Data

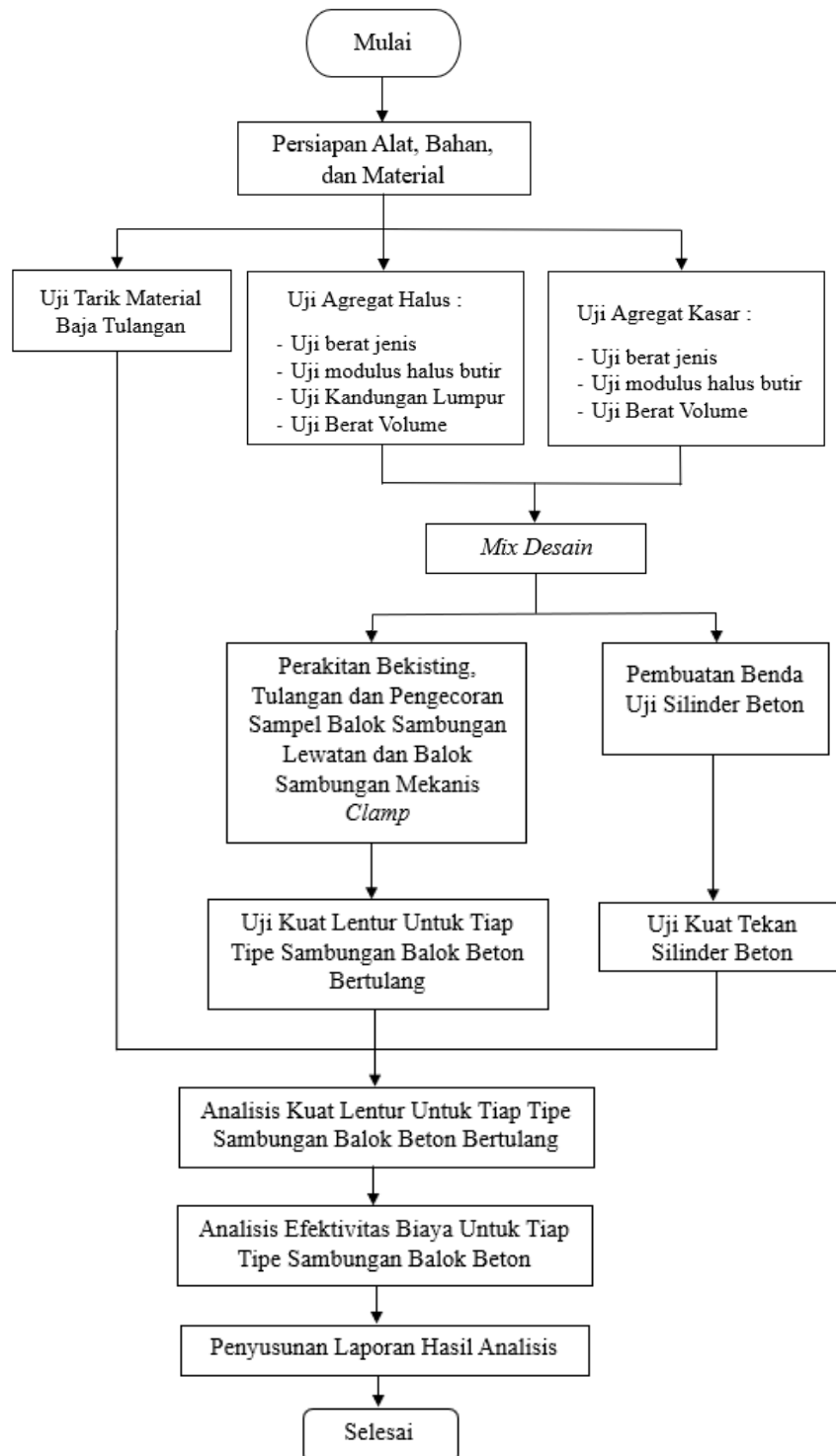
Tahapan ini berfokus pada perhitungan analisis kuat tekan beton, kuat lentur beton, dan kuat tarik baja tulangan

8. Tahap Laporan dan Kesimpulan

Pembahasan dan hasil analisis disusun sedemikian rupa dalam bentuk Tugas Akhir lalu dilakukan penarikan kesimpulan dari hasil penelitian yang merupakan maksud dari Tugas Akhir ini.

4.7 Flowchart Penelitian

Langkah-langkah penelitian ini bisa dilihat melalui Gambar 4.6 berikut.



Gambar 4.6 Flowchart Penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Propertis Agregat

Uji propertis dari material atau bahan baku campuran beton dilakukan agar mengetahui karakteristik setiap bahan yang akan dipakai dalam mix design dan pada saat pelaksanaan pencampuran di lapangan. Hasil dari pengujian ini mengacu pada ketentuan SNI 03-2834-2000 tentang campuran beton.

5.1.1 Uji Material Agregat Halus

Uji material agregat halus pada penelitian ini menggunakan agregat halus yang berasal dari Sungai Progo yang akan melalui uji kandungan lumpur (uji lolos saringan 200), uji berat volume padat/gembur, uji berat jenis dan penyerapan air, serta uji modulus halus butir

1. Uji Berat Jenis dan Penyerapan air Agregat Halus

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

Tabel 5.1 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan air Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan (gram)
Berat pasir kering mutlak atau kering oven (Bk)	477
Berat pasir kondisi jenuh kering permukaan (SSD)	500
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt)	969
Berat piknometer berisi air (B)	659
Berat jenis curah $Bk / (B + 500 - Bt)$	2,511
Berat jenis jenuh kering permukaan $500 / (B + 500 - Bt)$	2,632
Berat jenis semu $Bk / (B + Bk - Bt)$	2,856
Penyerapan air, % $(500 - Bk) / Bk \times 100\%$	4,821 %

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengujian yang dilakukan, maka didapat nilai dari berat jenis kering permukaan (SSD) agregat halus Pasir Progo sebesar 2,632 yang nantinya akan digunakan dalam perhitungan *mix design*. Selain itu didapatkan nilai rasio penyerapan air sebesar 4,821%. Berdasarkan SNI 03-1970-1990 nilai yang didapat memenuhi syarat untuk nilai berat jenis permukaan (SSD) agregat halus bernilai diantara 2,5-2,7 dan rasio penyerapan air agregat halus wajib bernilai kurang dari 5%.

2. Uji Modulus Halus Butir Agregat Halus

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

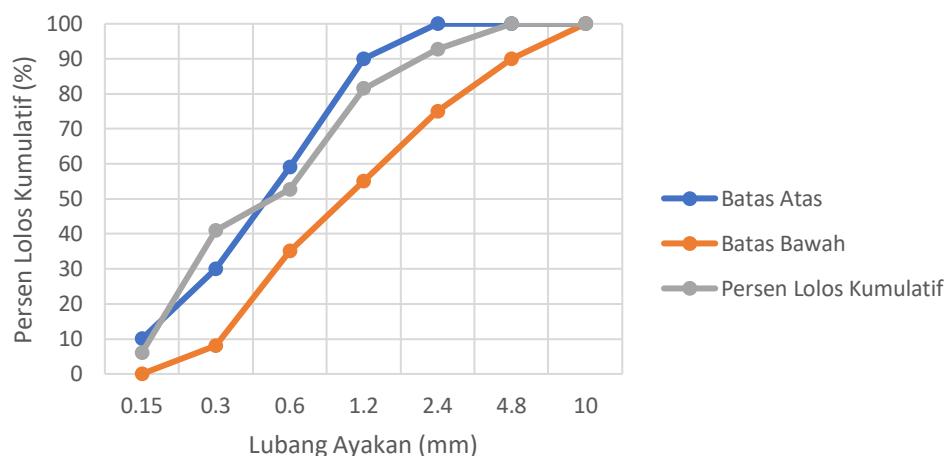
Tabel 5.2 Uji Modulus Halus Butir Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
10	0	0	0	100
4,8	0	0	0	100
2,4	145	7,27	7,27	92,73
1,2	225	11,28	18,55	81,45
0,6	575	28,82	47,37	52,63
0,3	233	11,68	59,05	40,95
0,15	697	34,94	93,98	6,02
Sisa	120	6,015	100,000	0
Jumlah	1995	100		

Dari hasil Tabel 5.2 di atas, didapatkan nilai modulus halus

butir sebesar :Modulus Halus Butir (MHB) = $\frac{226,216}{100} = 2,262$

Uji modulus halus butir ini bertujuan untuk mendapatkan angka gradasi agregat halus. Dari pengujian ini ditetapkan hasil gradasi daerah II yang artinya 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 (Gram)
Berat Agregat Kering Oven (w1)	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (w2)	484
Berat yang lolos ayakan No. 200	3,20%

Hasil pengamatan didapatkan nilai kandungan lumpur pada agregat halus Sungai Progo bernilai 3,20% yang mana telah memenuhi ketentuan PUBI-1982 tentang syarat batas maksimal kandungan lumpur 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 Pengamatan
Berat tabung (w1), gram	10742
Berat tabung + agregat kering oven (w2), gram	18871
Berat agregat (w3), gram	8125
Volume tabung (v), cm ³	5313,713
Berat volume gembur = (w3/v), gram/cm ³	1,529

Berdasarkan tabel 5.4 di atas didapatkan hasil berat volume gembur pada agregat kasar sebesar 1,529 gram/cm³, nilai tersebut sudah sesuai dengan syarat SNI 03-4804-1998 yang menyebutkan bahwa nilai berat volume gembur disyaratkan antara 1,2-1,7.

b. 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 Pengamatan
Berat tabung (w1), gram	10742
Berat tabung + agregat kering oven (w2), gram	19164
Berat agregat (w3), gram	8422
Volume tabung (v), cm ³	5313,713
Berat volume gembur = (w3/v), gram/cm ³	1,585

Berdasarkan tabel 5.5 di atas didapatkan hasil berat volume gembur pada agregat kasar sebesar 1,585 gram/cm³, nilai tersebut sudah sesuai dengan syarat SNI 03-4804-1998 yang menyebutkan bahwa nilai berat volume padat disyaratkan antara 1,2-1,7.

5.1.2 Uji Material Agregat Kasar

Uji agregat kasar yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya uji modulus halus butir, uji berat volume isi padat dan uji berat volume gembur beserta uji berat jenis dan penyerapan air.

1. Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Hasil pengamatan berat jenis dan penyerapan air dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Uraian	Hasil pengamatan (gram)
Berat kerikil kering oven (Bk)	4941
Berat kerikil kondisi jenuh kering permukaan (SSD) (Bj)	5000
Berat kerikil dalam air (Ba)	3130
Berat jenis curah $Bk / (Bj - Ba)$	2,642
Berat jenis jenuh kering permukaan $Bj / (Bj - Ba)$	2,674
Berat jenis semu $Bk / (Bk - Ba)$	2,728
Penyerapan air, % $(Bj - Bk) / Bk \times 100\%$	1,19%

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengujian yang dilakukan, maka didapat nilai dari berat jenis kering permukaan (SSD) agregat kasar sebesar 2,674 yang nantinya akan digunakan dalam perhitungan *mix design*. Selain itu didapatkan nilai rasio penyerapan air sebesar 1,19%.

2. Uji Modulus Halus Butir Agregat Kasar

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

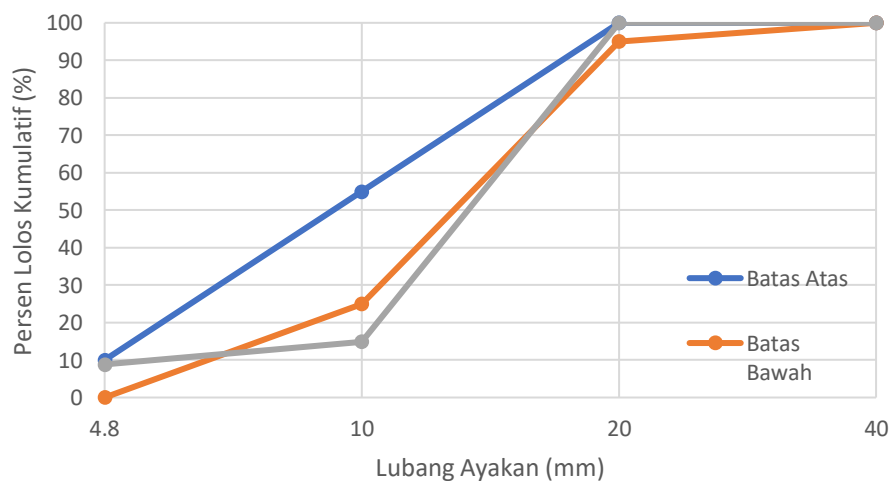
Tabel 5.7 Uji Modulus Halus Butir Agregat Kasar

Saringan (mm)	Berat tertinggal (gram)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40	0	0,000%	0,000%	100,000%
20	0	0,000%	0,000%	100,000%
10	4257	85,106%	85,106%	14,894%
4.8	303	6,058%	91,164%	8,836%
2.4	287	5,738%	96,901%	3,099%
1.2	4	0,080%	96,981%	3,019%
0.6	66	1,319%	98,301%	1,699%
0.3	0	0,000%	98,301%	1,699%
0.15	0	0,000%	98,301%	1,699%
Sisa	85	1,699%	100,000%	0,000%
Jumlah	5002	100,00%		

Dari hasil Tabel 5.7 di atas, didapatkan nilai modulus halus butir

sebesar: Modulus Halus Butir (MHB) = $\frac{665,054}{100} = 6,6505$

Berdasarkan hasil analisis di atas, didapatkan kurva gradasi agregat kasar untuk ukuran 20 mm yang mengacu kepada SNI-2834-2000 dan dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Grafik Analisis Saringan Agregat Kasar Ukuran 20 mm

3. Uji Berat Volume Agregat Kasar

a. Uji Berat Isi Gembur Agregat Kasar

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

Tabel 5.8 Uji Berat Isi Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat tabung (w1), gram	10734
Berat tabung + agregat kering oven (w2), gram	18535
Berat agregat (w3), gram	7794
Volume tabung (v), cm ³	5227,56
Berat volume gembur = (w3/v), gram/cm ³	1,49

Berdasarkan tabel 5.8 di atas didapatkan hasil berat volume gembur pada agregat kasar sebesar 1,49 gram/cm³, nilai tersebut sudah sesuai dengansyarat 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 Pengamatan
Berat tabung (w1), gram	10734
Berat tabung + agregat kering oven (w2), gram	18939
Berat agregat (w3), gram	8204
Volume tabung (v), cm ³	5227,55
Berat volume gembur = (w3/v), gram/cm ³	1,56

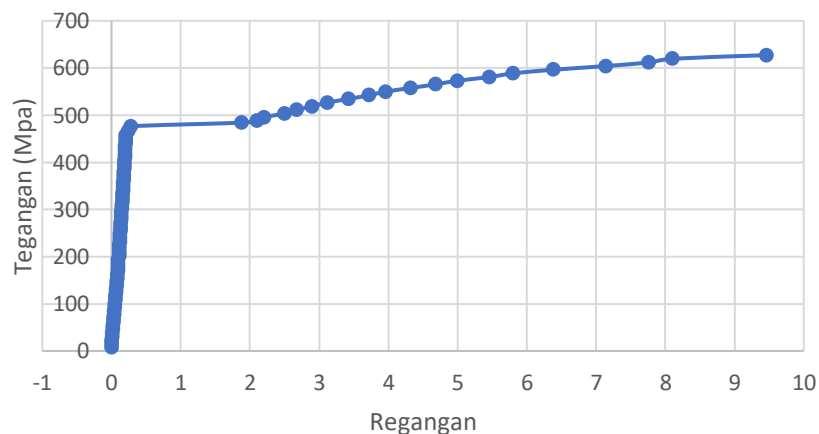
Berdasarkan Tabel 5.9 di atas didapatkan hasil berat volume gembur pada agregat kasar sebesar $1,56 \text{ gram/cm}^3$, nilai tersebut sudah sesuai dengansyarat SNI 03-4804-1998 yang menyebutkan bahwa nilai berat volume padat disyaratkan antara 1,2-1,7.

5.1.3 Pengujian 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 untuk tulangan tarik dan P10 untuk tulangan tekan.

1. Uji Tarik Baja D13

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



Gambar 5.3 Kurva Tegangan Regangan Baja D13

Pengujian ini menghasilkan data saat tulangan mendapat beban leleh sehingga nantinya akan diketahui nilai tegangan lelehnya. Selain itu, didapat beban ultimit yang selanjutnya dianalisis agar mengetahui tegangan ultimit tulangan D13. Berikut merupakan analisis pengujian tarik tulangan D13.

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

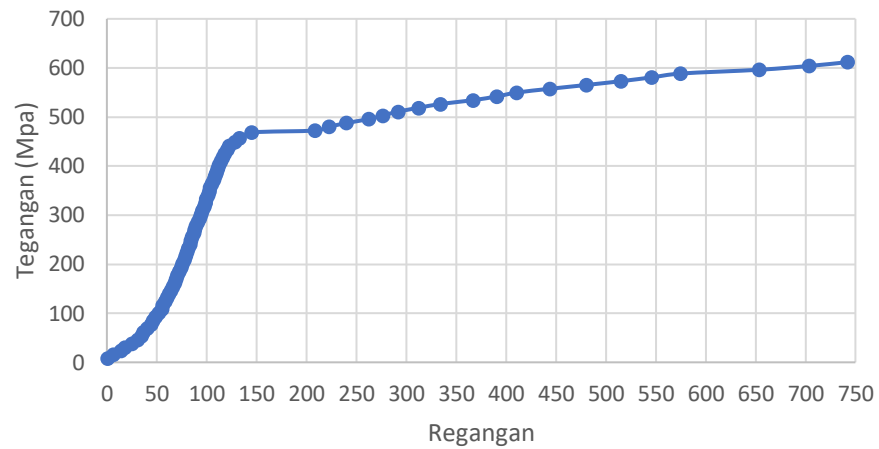
$$\text{Luas} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \pi 12,7^2 \\
 &= 126,6769 \text{ mm}^2 \\
 P_u &= 8100 \text{ kgf} \\
 &= 8100 \times 9,81 \\
 &= 79461,00 \text{ N} \\
 P_y &= 6150 \text{ kgf} \\
 &= 6150 \times 9,81 \\
 &= 60331,50 \text{ N} \\
 f_u &= \frac{P_u}{\text{Luas Penampang}} \\
 &= \frac{79461}{126,676} \\
 &= 627,273 \text{ MPa} \\
 f_y &= \frac{P_y}{\text{Luas Penampang}} \\
 &= \frac{60331,5}{126,676} \\
 &= 476,26 \text{ MPa.}
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D13 setelah dianalisis mendapatkan nilai tegangan leleh sebesar 476,26 MPa dengan beban leleh sebesar 60331,50 N, sedangkan untuk nilai tegangan ultimit sebesar 627,273 MPa dengan nilai beban maksimal sebesar 79461 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 menghasilkan data dalam bentuk grafik yang terdapat pada Gambar 5.4 dibawah ini.



Gambar 5.4 Kurva Tegangan Regangan Baja D13 Sambungan Clamp

Pengujian ini menghasilkan data saat tulangan yang disambung *clamp* mendapat beban leleh sehingga nantinya akan diketahui nilai tegangan lelehnya. Selain itu, didapat beban ultimit yang selanjutnya dianalisis agar mengetahui tegangan ultimit tulangan D13 yang dipasang sambungan *clamp*. Berikut merupakan analisis pengujian tarik baja dengan sambungan *clamp*.

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

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 12,7^2 \\ &= 126,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &= 7900 \text{ kgf} \\ &= 7900 \times 9,81 \\ &= 77499 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_y &= 6050 \text{ kgf} \\ &= 6050 \times 9,81 \\ &= 59350,5 \text{ N} \end{aligned}$$

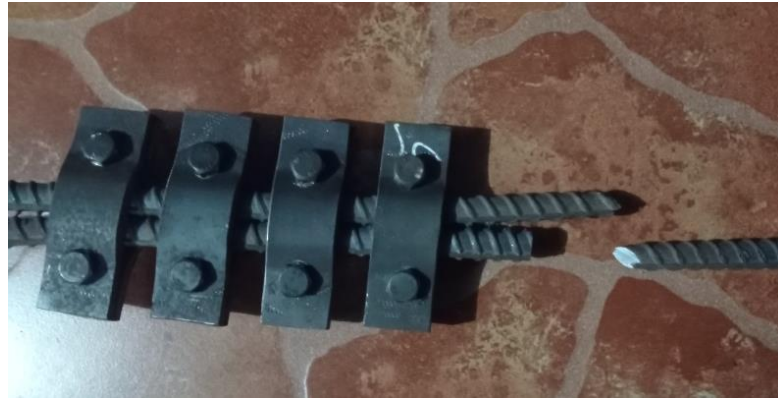
$$f_u = \frac{P_u}{\text{Luas}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{77499}{126.676} \\
 &= 611,78 \text{ MPa} \\
 f_y &= \frac{P_y}{Luas} \\
 &= \frac{59350,5}{126.676} \\
 &= 472,39 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D13 dengan sambungan *clamp* mendapatkan nilai tegangan leleh sebesar 472,39 MPa dengan beban leleh awal sebesar 59350,5 N serta nilai tarik maksimum yang didapat sebesar 611,78 MPa. Dari hasil pengujian di atas, didapat bahwa baja tulangan dengan sambungan *clamp* memiliki nilai tegangan leleh dan tegangan maksimal yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan baja tulangan D13 tanpa disambung.



Gambar 5.5 Uji Tarik Baja Dengan Sambungan *Clamp*



Gambar 5.6 Kondisi *Clamp* Setelah Pengujian

Kerusakan yang terjadi pada sambungan dengan menggunakan sambungan clamp terletak pada baja tulangan D13 yang mulai memuntir dan akhirnya patah. Selain itu, saat pengujian terjadi sedikit selip pada clamp dan tulangan yang diakibatkan plat *clamp* menahan kuat tarik dengan ulir dari baja tulangan yang mengakibatkan keduanya mulai terjadi selip.

5.2 Analisis Proporsi Campuran Beton

Dalam penelitian ini penulis menggunakan perhitungan kuat tekan beton rencana sebesar 25 MPa dengan menggunakan acuan SNI 03-2834-2000. Benda uji yang akan digunakan untuk uji kuat desak menggunakan 3 silinder beton yang setiap proporsi *mix design* benda uji utama. Dibawah ini merupakan perhitungan *mix design* yang digunakan.

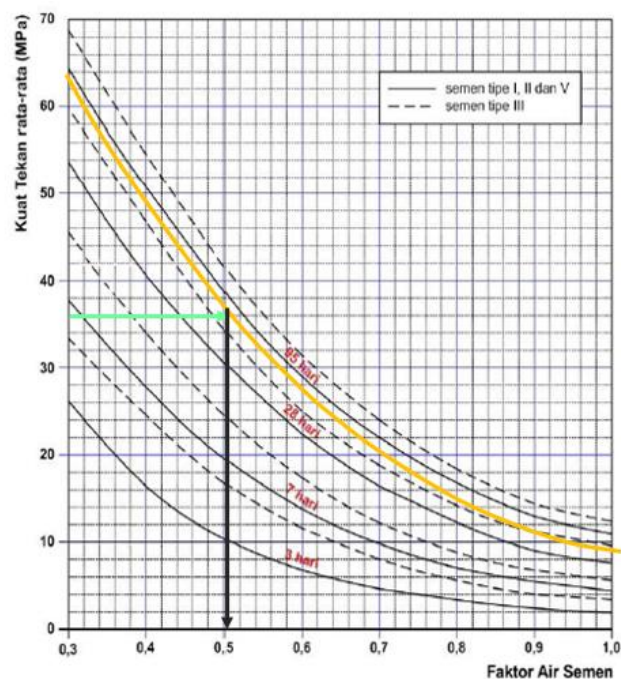
1. Kuat tekan rencana (f'_c) beton adalah 25 MPa.
2. Semen yang digunakan merupakan semen PCC dengan merk Gresik.
3. Agregat kasar yang digunakan menurut hasil uji analisis saringan mempunyai ukuran maksimal 20 mm.
4. Agregat halus yang digunakan termasuk ke dalam daerah gradasi 2.
5. Benda uji silinder memiliki jumlah 6 buah yang berarti tidak lebih dari 15 benda uji. Sesuai Tabel 3.1, bila jumlah sampel berjumlah tidak lebih dari 15 maka menggunakan nilai tambah kuat tekan rencana sebesar 12 MPa.

6. Perhitungan kuat tekan rencana yang telah disesuaikan telah dijabarkan dibawah ini.

$$f_{cr} = 25 + 12$$

$$= 37 \text{ MPa}$$

7. Menetapkan faktor air semen (FAS)
- Menurut Tabel 3.2, 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.
 - Faktor air semen didapat dengan menganalisis grafik yang telah ditentukan pada Gambar 3.7. Untuk $f_{cr} = 37 \text{ MPa}$ penentuan nilai FAS dapat ditentukan pada Gambar 5.7 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 3.6 yang mana FAS bernilai 0,6 karena beton diletakkan diluar ruangan yang teduh sehingga terhindar dari terik matahari

langsung dan hujan. Sementara pada penelitian FAS yang digunakan adalah 0,5.

8. Nilai *slump* rencana campuran beton ditetapkan antara 60 mm sampai 180 mm.
9. Nilai kadar air bebas dapat ditentukan melalui Tabel 3.3, yang mana dengan ukuran agregat kasar maksimum sebesar 20 mm berbentuk batu pecah dan nilai slump 60 – 180 mm, didapatkan nilai kadar air bebas sejumlah 225 kg/m³. Dalam penelitian ini penulis menetapkan kadar air bebas sejumlah 205 kg/m³.
10. Perhitungan jumlah semen setiap 1 m³ beton.

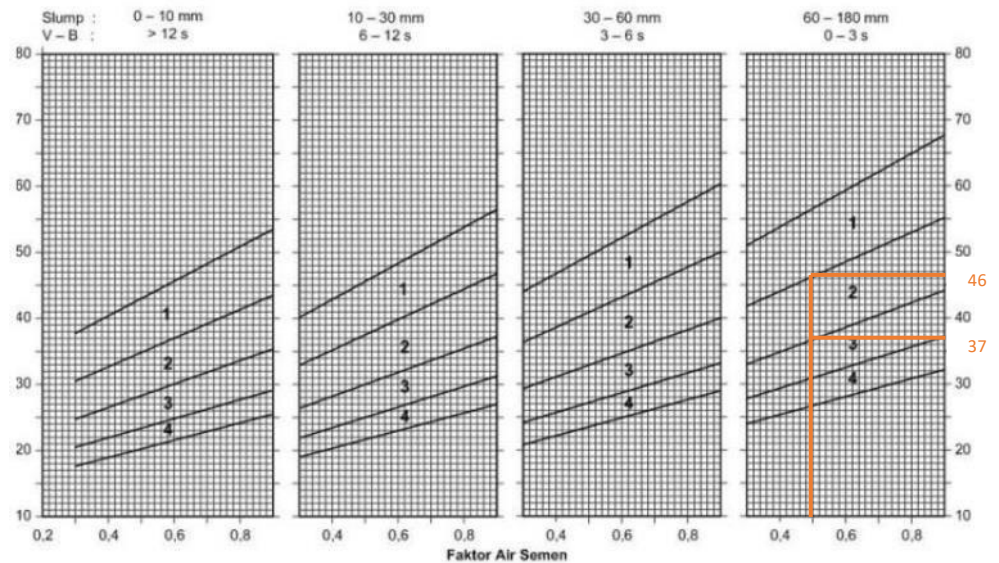
a. Kadar semen dapat diketahui dengan persamaan 3.15 berikut.

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

b. Menurut Tabel 3.4 pada benda uji yang disimpan di luar ruangan yang teduh sehingga terlindung dari terik matahari langsung dan hujan ditetapkan jumlah semen minimum per 1 m³ beton adalah 275 kg/m³.

Berdasarkan dua ketentuan di atas, dalam penelitian ini jumlah semen yang dipakai adalah 410 kg/m³.

11. Presentase agregat halus ditetapkan menurut Gambar 3.8 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.



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

Gambar 5.8 Grafik Presentase Agregat Halus

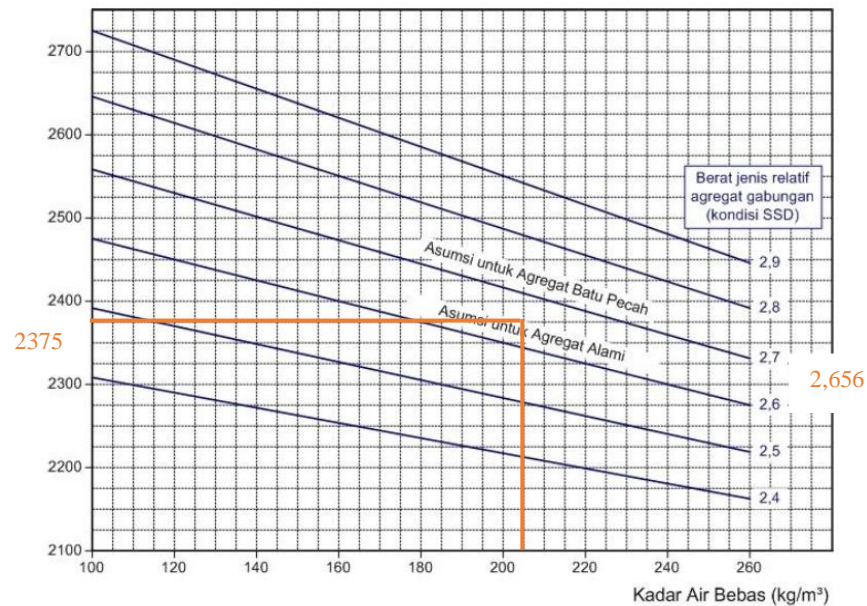
$$\begin{aligned} \text{Presentase Agregat Halus} &= \frac{46+37}{2} \times 100\% \\ &= 41,5\% \end{aligned}$$

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

12. Pada saat pengujian material didapatkan berat jenis agregat halus adalah $2,632 \text{ gram/cm}^3$ dan berat jenis agregat kasar adalah $2,674 \text{ gram/cm}^3$.

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Gabungan} &= \left(\frac{\% \text{ Ag. Halus}}{100} \times \text{BJ Ag. Halus} \right) + \\ &\quad \left(\frac{\% \text{ Ag. Kasar}}{100} \times \text{BJ Ag. Kasar} \right) \\ &= \left(\frac{41,5}{100} \times 2,632 \right) + \left(\frac{58,5}{100} \times 2,674 \right) \\ &= 2,656 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

13. Dalam Gambar 3.9 dapat ditetapkan berat isi beton segar berdasarkan kadar air bebas sebesar 205 kg/m^3 dan berat jenis agregat gabungan $2,656 \text{ gram/cm}^3$, sehingga didapatkan nilai berat isi beton segar yang dipadatkan yang terdapat pada Gambar 5.9 berikut.



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

Gambar 5.9 Grafik Berat Isi Beton

Sesuai grafik 5.9 di atas, ditetapkan kadar berat isi beton sejumlah 2375 kg/m^3 .

14. Perhitungan jumlah material pada proporsi campuran beton.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Kadar agregat gabungan} &= \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \\
 &\quad \text{kadar air bebas} \\
 &= 2375 - 410 - 205 \\
 &= 1760 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. Kadar agregat halus} &= \frac{\% \text{ Agregat Halus}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \\
 &= \frac{41,5}{100} \times 1760
 \end{aligned}$$

$$= 730,4 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{c. Kadar agregat kasar} = \frac{\% \text{ Agregat kasar}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan}$$

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

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

15. Berdasarkan perhitungan jumlah material, didapat kadar minimum setiap material yang diperlukan dalam membuat 1 m³ beton segar.

a. Semen = 410 kg

b. Air = 205 kg

c. Agregat Halus = 731 kg

d. Agregat Kasar = 1030 kg

16. Berikut perhitungan volume benda uji beton silinder dan benda uji balok yang diperlukan. Volume benda uji silinder dengan diameter 0,15 m dan tinggi 0,3 m adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Volume Silinder} &= \pi \times r^2 \times h \\ &= \pi \times 0,075^2 \times 0,3 \\ &= 0,005301 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk volume benda uji balok dengan panjang 2 m, lebar 0,15 m dan tinggi 0,3 m adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Volume Silinder} &= l \times b \times h \\ &= 2 \times 0,15 \times 0,3 \\ &= 0,090 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

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 nilai penyusutan yang dipakai adalah 25%. Dengan menggunakan benda uji silinder yang memiliki volume 0,0053 m³ dan benda uji balok dengan volume 0,09 m³, proporsi campuran yang diperlukan adalah sebagai berikut.

Material = kebutuhan/1 m³ × volume × nilai penyusutan × Jumlah benda uji

a. Jumlah kebutuhan material pada benda uji silinder :

$$\begin{aligned} \text{i. Semen} &= 410 \times 0,0053 \times 125\% \times 6 \\ &= 16,297 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ii. Air} &= 205 \times 0,0053 \times 125\% \times 6 \\ &= 8,148 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{iii. Agregat Halus} &= 731 \times 0,0053 \times 125\% \times 6 \\ &= 29,057 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{iv. Agregat Kasar} &= 1030 \times 0,0053 \times 125\% \times 6 \\ &= 40,942 \text{ kg} \end{aligned}$$

b. Jumlah kebutuhan material pada benda uji balok :

$$\begin{aligned} \text{i. Semen} &= 410 \times 0,09 \times 125\% \times 2 \\ &= 92,25 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ii. Air} &= 205 \times 0,09 \times 125\% \times 2 \\ &= 46,125 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{iii. Agregat Halus} &= 731 \times 0,09 \times 125\% \times 2 \\ &= 164,475 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{iv. Agregat Kasar} &= 1030 \times 0,09 \times 125\% \times 2 \\ &= 231,750 \text{ kg} \end{aligned}$$

5.3 Analisis Data *Mix Design*

Pada penelitian ini benda uji utama adalah balok beton bertulang berjumlah 2 buah yang terdiri dari 1 balok dengan sambungan lewatan dan 1 balok dengan sambungan *clamp* dengan tambahan 3 benda uji silinder beton pada setiap 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*. Berikut disajikan pengujian kuat tekan pada Gambar 5.8.



Gambar 5.10 Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Berikut merupakan rekapitulasi pengujian kuat tekan dari benda uji silinder beton yang dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Benda Uji	Berat (Kg)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Max (N)	Kuat Tekan (MPa)
Lewatan 1	12,957	151,85	304	18110,04	460000	25,40
Lewatan 2	12,687	151,5	303	18026,65	380000	21,08
Lewatan 3	12,873	151,3	301	17979,09	320000	17,80
Clamp 1	12,966	151,35	303	17990,97	315000	17,51
Clamp 2	13,011	150,45	302	17777,64	392000	22,05
Clamp 3	12,763	151,2	301	17955,33	370000	20,61

Berikut merupakan contoh perhitungan kuat tekan silinder beton.

1. Diketahui diameter (d) = 151,50 mm, sehingga memiliki jari-jari (r) = 75,75 mm

$$\begin{aligned}
2. \quad A &= \pi \times r^2 \\
&= \pi \times 75,75^2 \\
&= 18026,65 \text{ mm}^2 \\
P &= 380000 \text{ N} \\
f'_c &= \frac{P}{A} \\
&= \frac{380000}{18026,65} \\
&= 21,08 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Berdasarkan pengujian kuat tekan pada benda uji silinder, didapatkan nilai kuat tekan (f'_c) rata-rata sebesar 21,43 MPa untuk benda uji silinder beton pada campuran *mixer* sambungan lewatan dan didapatkan nilai kuat tekan (f'_c) rata-rata sebesar 20,06 MPa untuk benda uji silinder beton pada campuran *mixer* sambungan *clamp*. Sedangkan rencana kuat tekan beton sebesar 25 MPa, dari hasil ini didapat bahwa campuran beton tidak sesuai dengan *mix design* yang direncanakan. Hal ini disebabkan oleh butiran agregat halus dan kadar lumpur pada agregat halus itu sendiri yang walaupun masih memenuhi spesifikasi tapi berdampak pada mutu beton. Untuk perbandingan kuat tekan rata-rata silinder pada campuran beton sambungan lewatan dan sambungan *clamp* dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Perbandingan Kuat Tekan Rata-Rata

Kode Balok	Kuat Tekan (Mpa)
<i>Clamp</i>	20,05
Lewatan	21,42

5.4 Sambungan Tulangan Pada Balok

5.4.1 Sambungan Lewatan

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

Diketahui :

$$F_y = 476,2 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

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

$$D_b = 13$$

1. Pasal 25.4.2.2

$$\begin{aligned} \ell d &= \left(\frac{F_y \times \Psi_t \times \Psi_e}{2,1 \times \lambda \times \sqrt{F'_c}} \right) \times D_b \\ &= \left(\frac{476,2 \times 1 \times 1}{2,1 \times 1 \times \sqrt{25}} \right) \times 13 \\ &= 590 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Pasal 25.4.2.

$$\begin{aligned} \ell d &= \left(\frac{F_y}{1,1 \times \lambda \times \sqrt{F'_c}} \times \frac{\Psi_s \times \Psi_t \times \Psi_e}{\left(\frac{Cb + Ktr}{D_b} \right)} \right) \times D_b \\ &= \left(\frac{476,2}{1,1 \times 1 \times \sqrt{25}} \times \frac{0,8 \times 1 \times 1}{(2,5)} \right) \times 13 \\ &= 360,22 \text{ mm} \end{aligned}$$

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 360,22 mm untuk spesifikasi asumsi mutu beton sebesar 25 MPa serta kuat leleh baja tulangan sebesar 476,2 MPa. Hasil analisis perhitungan panjang penyaluran tersebut kemudian dikalikan dengan nilai

1,3 untuk menentukan panjang dari sambungan lewatan terpasang sesuai dengan Tabel 3.5 yang berfungsi agar gaya tarik dapat disalurkan dengan lebih baik dan supaya tulangan dapat lebih aman karena berada pada daerah yang lebih jauh terhadap gaya tarik yang besar.

Sehingga didapat hasil dari panjang sambungan lewatan terpasang senilai 468,28 mm. Analisis perhitungan tersebut kemudian dilakukan pembulatan sehingga nilai panjang sambungan lewatan yang digunakan dan dipasang pada balok dalam penelitian ini adalah 480 mm demi kemudahan dalam pengerjaan pemasangan sambungan lewatan.

5.5 Analisis Tulangan Rangkap

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

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 B &= 150 \text{ mm} \\
 H &= 300 \text{ mm} \\
 S_b &= 40 \text{ mm} \\
 f'_c &= 21,43 \text{ MPa} \\
 f_y &= 476,26 \text{ MPa} \\
 E &= 200000 \\
 \epsilon_y &= f_y / E_s \\
 &= 464,6 / 200000 \\
 &= 0,00232
 \end{aligned}$$

1. Titik Berat Tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 d_s &= s_b + \phi_s + (0,5 \times \phi_p) \\
 &= 40 + 8 + (0,5 \times 13) \\
 &= 54,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

2. Tinggi Efektif Balok

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

3. Titik Berat Tulangan Desak

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

4. As Tekan dan As Tarik

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

$$\begin{aligned}
 As \text{ Tarik} &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times \phi_p^2 \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\
 &= 265,464 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

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

5. Luas Tulangan Minimum dan Maksimum

$$As \text{ Maksimum} = 0,025 \times b \times d$$

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

$$\begin{aligned}
 As \text{ Minimum 1} &= 0,25 \times \frac{\sqrt{f'c}}{f_y} \times b \times d \\
 &= 0,25 \times \frac{\sqrt{21,43}}{476,26} \times 150 \times 245,5 \\
 &= 89,484 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$As \text{ Minimum 2} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{1,4}{476,26} \times 150 \times 245,5$$

$$= 108,249 \text{ mm}^2$$

6. Asumsi baja tarik telah leleh sedangkan baja desak belum leleh

$$\Sigma H = 0$$

$$C_s + C_c - T_s = 0$$

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s \times f_y = (0,85 \times f_c' \times a \times b) + (A_s' \times f_s)$$

$$A_s \times f_y = (0,85 \times f_c' \times (\beta_1 \times c) \times b) + (A_s' \times \left(\frac{\epsilon_c}{c} \times (c - d_s') \times E\right))$$

$$265,464 \times 476,26 = (0,85 \times 21,43 \times 0,85 \times c \times 150) + (157,079$$

$$\times \left(\frac{0,003}{c} \times (c - 53) \times 200000\right))$$

$$126430,161 = 2322,476 c + 94247,779 - \frac{4995132,319}{c}$$

$$2322,476 c^2 - 32182,38 c - 4995132,319 = 0$$

$$\text{Rumus abc} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c_1 = -39,96 \text{ mm}$$

$$c_2 = 53,82 \text{ mm (c pakai)}$$

7. Regangan tarik

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} \times \epsilon_c$$

$$= \frac{245,5 - 53,82}{53,82} \times 0,003$$

$$= 0,0106 > 0,00232 (\epsilon_y) \text{ (Asumsi benar)}$$

8. Regangan desak

$$\epsilon_s' = \frac{c - d_s'}{c} \times \epsilon_c$$

$$= \frac{53,82 - 53}{53,82} \times 0,003$$

$$= 0,00004 < 0,003 (\epsilon_c) \text{ (Asumsi benar)}$$

9. Blok Tekan

$$a = \beta_1 \times c$$

$$= 0,85 \times 53,82$$

$$= 45,747 \text{ mm}$$

$$10. F_s = \epsilon_s' \times E$$

$$= 0,00004 \times 200000$$

$$= 9,138 \text{ MPa}$$

11. Kapasitas Momen Tulangan

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

$$= (0,85 \times f_c' \times a \times b) \times (d - \frac{1}{2} \times a)$$

$$= (0,85 \times 21,43 \times 45,747 \times 150) \times (245,5 - (45,747 \times \frac{1}{2}))$$

$$= 27827349 \text{ Nmm}$$

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

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

$$= (9,14 \times 157,079) \times (245,5 - 53)$$

$$= 276312,17 \text{ Nmm}$$

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

$$= 27827349 + 276312,17$$

$$= 28103661,2 \text{ Nmm}$$

$$= 28,10 \text{ kNm}$$

Setelah dilakukan analisis untuk tulangan rangkap setiap variasi balok sesuai dengan spesifikasinya dengan perbedaan pada balok sambungan *clamp* mempunyai f_c' 20,05 MPa dan f_y 472,39 MPa, berikut merupakan rekapitulasi perhitungan M_n teoritis pada Tabel 5.12 berikut.

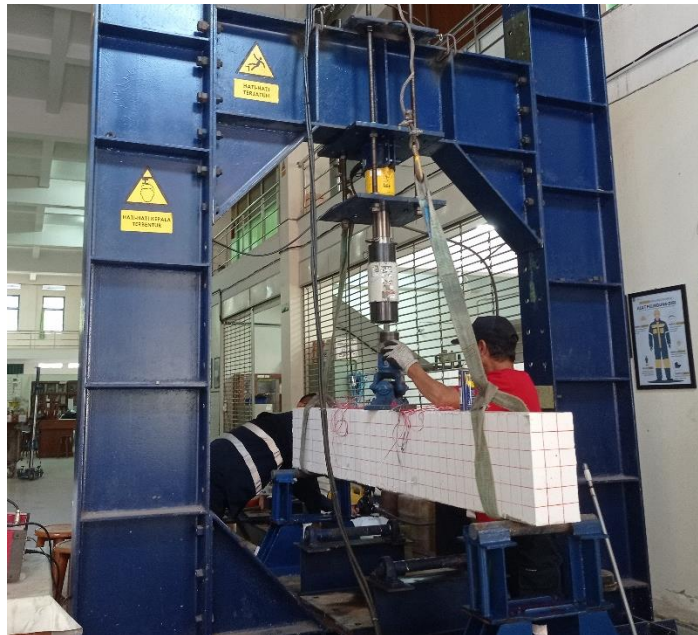
Tabel 5.12 Rekapitulasi Analisis Tulangan Rangkap

Kode Balok	M_n Teoritis (kNm)
<i>Clamp</i>	27,71
Lewatan	28,10

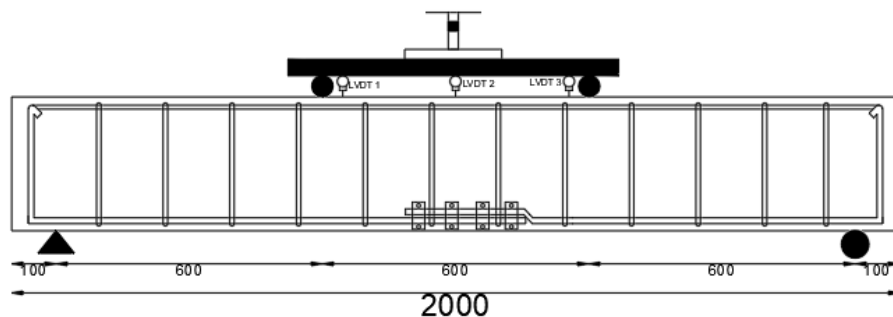
5.6 Pengujian Kuat Lentur Balok

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 5.11 dan 5.12 dibawah ini merupakan mekanisme pembebanan pada saat pengujian.



Gambar 5.11 Proses Pembebanan Benda Uji Balok



Gambar 5.12 Pembebanan Terpusat Ganda 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

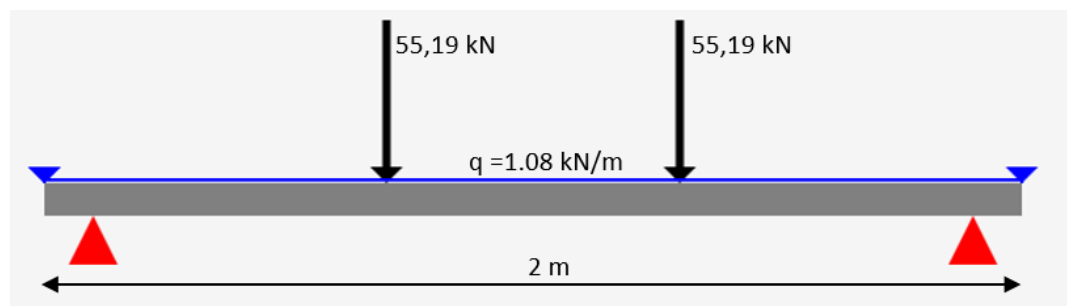
Kuat lentur balok didapatkan melalui perhitungan analisis struktur dengan telah mengetahui beban maksimal yang dapat ditahan oleh balok serta panjang bentang balok dari tumpuan satu ke tumpuan yang lain. Berikut contoh perhitungan kuat lentur balok pada saat pengujian.

Nilai berat balok (W) dapat diperoleh dengan mengalikan nilai massa jenis balok (γ_c) dengan volume balok (V). Berikut perhitungan berat balok.

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

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

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



Gambar 5.13 Ilustrasi Pembebanan Balok

Kemudian menghitung nilai RAV dan RBV untuk menentukan besarnya gaya yang bekerja pada suatu konstruksi sehingga didapatkan besarnya beban yang terjadi. Mencari RBV dengan berpedoman pada titik A dimana semua titik memutarinya. Untuk titik yang memutar searah jarum jam akan bernilai positif (+) dan titik yang berlawanan jarum jam akan bernilai negatif (-).

$$\Sigma RAV = 0$$

$$(55,19 \times 0,6) + (55,19 \times 1,2) + ((1,08 \times 1,8) \times 0,9) + ((1,08 \times 0,1) \times 1,85) - ((1,08 \times 0,1) \times 0,05) - (RBV \times 1,8) = 0$$

$$33,114 + 66,228 + 1,7496 + 0,1998 - 0,0054 - 1,8 RBV = 0$$

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

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

$$RBV = 56,27 \text{ KN}$$

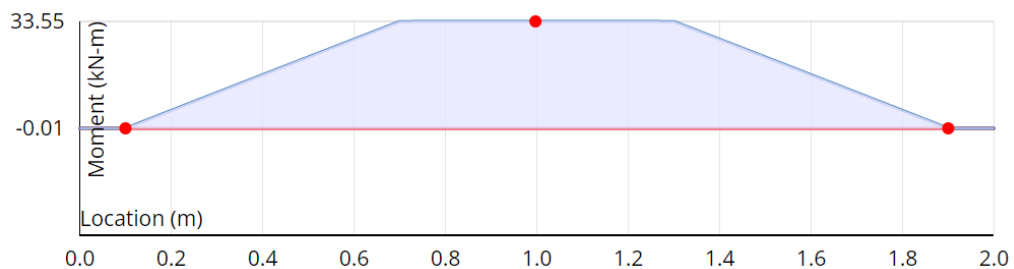
Dengan cara yang sama, maka didapat beban mampu ditahan RAV sebesar 56,27 KN. Karena RAV dan RBV telah diketahui maka dapat diketahui momen pada balok tersebut dengan rumus sebagai berikut

Momen = gaya \times Panjang lengan

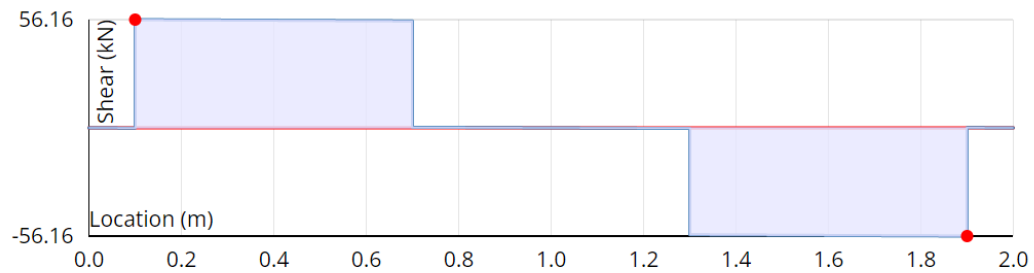
$$= ((56,27 - 0,108) \times 0,6) - ((1,08 \times 0,9) \times 0,15)$$

$$= 33,6972 - 0,1458$$

$$= 33,5514 \text{ KNm}$$



Gambar 5.14 Diagram Analisis BMD



Gambar 5.15 Diagram Analisis SFD

Dari hasil perhitungan di atas, kuat lentur balok dengan sambungan *clamp* juga dapat dihitung dengan cara yang sama pula. Berdasarkan hasil perhitungan di atas kuat lentur balok dengan sambungan *clamp* juga dapat dihitung dengan cara yang sama, sehingga didapat rekapitulasi masing-masing kuat lentur balok yang dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Perhitungan M_n Percobaan

Kode Balok	P_{maks} (KN)	Lengan Beban (m)	M_n Percobaan (kNm)
<i>Clamp</i>	106,09	0,6	32,26
Lewatan	110,38	0,6	33,55

Berdasarkan analisis perhitungan dari pengujian kuat lentur balok beton bertulang didapatkan nilai kuat lentur untuk balok dengan sambungan lewatan sebesar 33,60 kNm, sedangkan nilai kuat lentur untuk balok dengan sambungan *clamp* adalah 32,31 kNm.

Dari hasil pengujian ini, hasil kuat lentur balok dengan sambungan lewatan masih mengungguli balok dengan sambungan mekanis *clamp* sebesar 3,83%. Artinya, secara perbandingan kuat lentur balok dengan sambungan *clamp* belum mampu untuk menggantikan balok sambungan lewatan.

Tabel 5.14 Rasio Perbandingan Mn Pengujian & Mn Teoritis

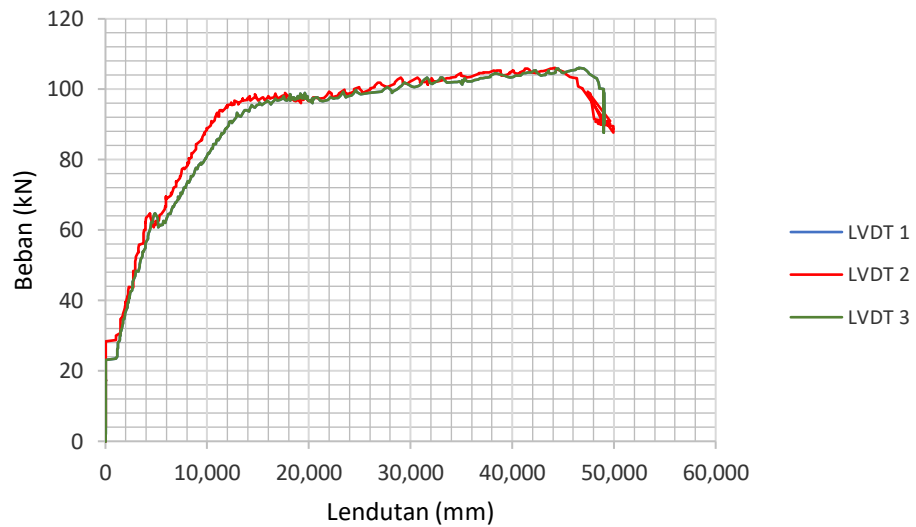
Kode Balok	Pmaks (kN)	Mn Teoritis (kNm)	Mn Pengujian (kNm)	Rasio Perbandingan Teori & Uji
<i>Clamp</i>	106,09	27,71	32,26	1,164
Lewatan	110,38	28,10	33,55	1,193

Rasio perbandingan diatas membandingkan antara nilai kuat lentur pada saat pengujian terhadap nilai kuat lentur teoritis. Nilai kuat lentur secara teoritis menggunakan analisis tulangan rangkap. Hasil perbandingan dapat dilihat pada Tabel 5.14 diatas. Berdasarkan analisis, didapatkan rasio perbandingan rata-rata sebesar 1,17 antara Mn Pengujian dengan Mn Teoritis, dengan hasil yang didapat adalah kuat lentur secara pengujian memiliki nilai yang lebih besar.

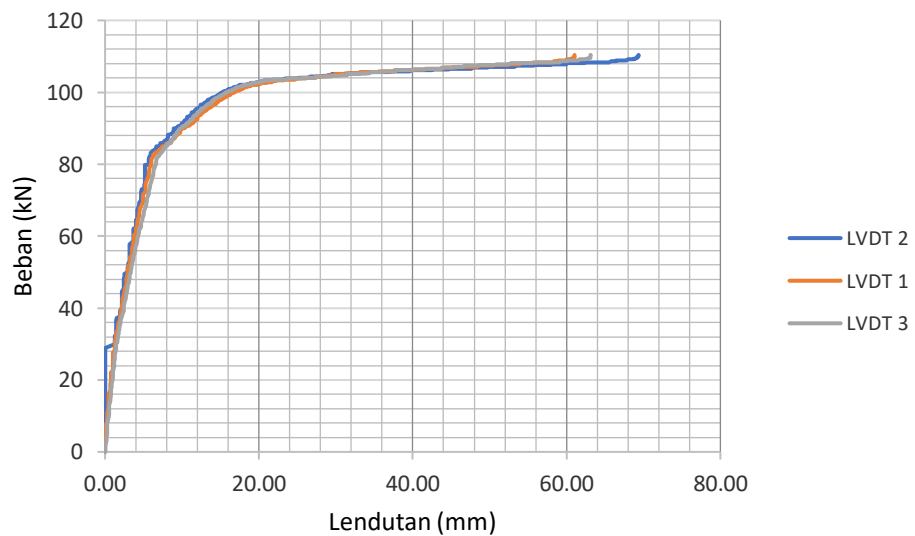
5.7 Respon Balok Terhadap Beban dan Lendutan

Benda uji balok yang akan diuji sebelumnya dipasangkan tiga buah LVDT dimana perletakannya sudah diatur sedemikian rupa berada pada sisi atas balok, dimana 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 lebih jelasnya respon balok terhadap beban dan lendutan, dapat dilihat pada grafik yang tersedia dalam Gambar 5.16 dan Gambar 5.17 berikut ini.



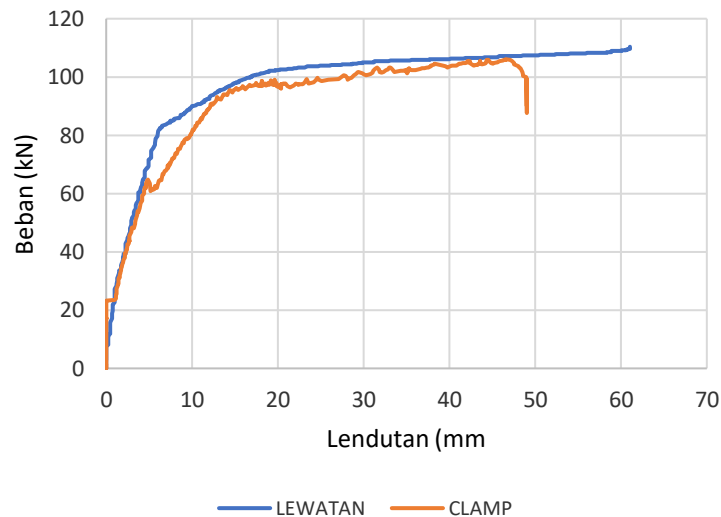
Gambar 5.16 Beban vs Lendutan Balok *Clamp*



Gambar 5.17 Beban vs Lendutan Balok Lewatan

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa balok sambungan lewatan mendapatkan kekuatan beban tertinggi dengan beban maksimum sebesar 110,38 kN dan lendutan maksimum sebesar 69,37 mm. Sedangkan balok dengan sambungan *clamp* mendapatkan kekuatan beban tertinggi dengan beban maksimum sebesar 106,09 kN dan lendutan maksimum sebesar 49,024 mm. Dari segi perbandingan nilai lendutan

kemampuan menahan beban, balok dengan sambungan lewatan memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan balok dengan sambungan *clamp*.



Gambar 5.18 Perbandingan Beban vs Lendutan Pada Balok Lewatan dan *Clamp*

Pada Gambar 5.18 diatas menampilkan perbandingan respon balok terhadap beban dan lendutan semua kedua 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 titik ultimit. Namun setelah mencapai beban maksimum, setiap balok memiliki kinerja lentur yang berbeda beda.

Untuk balok dengan sambungan *clamp* setelah mencapai beban maksimal sebesar 106,09 kN dan cenderung melendut hingga bernilai maksimal 49,02 mm kemudian balok mulai patah. Sesuai grafik pada Gambar 5.17 balok dengan sambungan lewatan memiliki lendutan yang lebih besar dibandingkan dengan balok sambungan *clamp*. Dengan nilai lendutan yang lebih besar daripada balok sambungan *clamp*, bisa dikatakan memiliki tingkat daktilitas yang lebih baik diantara balok lainnya. Menurut hasil kuat lenturnya, balok sambungan lewatan juga bernilai lebih besar daripada balok sambungan *clamp*. Hal ini sesuai

dengan penelitian Musyaffa (2022) dan Ambarwati (2022) yang mana dalam penelitian-penelitian tersebut didapat bahwa balok dengan sambungan lewatan memiliki nilai kuat lentur lebih tinggi dibandingkan balok dengan sambungan mekanis lain. Balok dengan sambungan mekanis *clamp* pada dasarnya merupakan sambungan lewatan dengan perpaduan pengikat tambahan berjenis *clamp* yang dapat dioptimalkan sehingga memungkinkan performa sambungan *clamp* dapat terus ditingkatkan.

5.8 Pola Retak Balok

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

1. Balok *Clamp*



Gambar 5.19 Kondisi Balok *Clamp* Setelah Pengujian

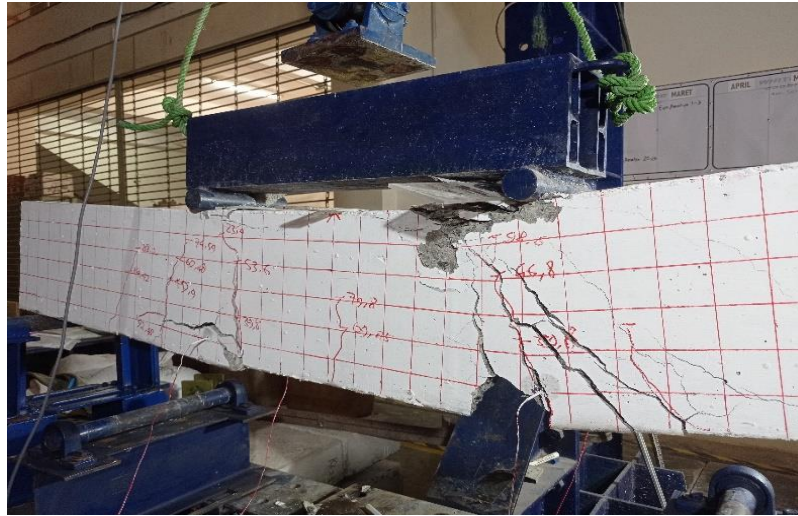
Pembebanan pada balok *clamp* cenderung sama dengan balok beton bertulang pada umumnya hingga awal keretakan muncul saat beban mencapai 32 kN. Beban sempit mengalami penurunan pada saat beban mencapai 64,76 kN dan turun di 60 kN, kemudian beban naik kembali hingga mencapai beban ultimitnya di 106,09 kN. Dalam prosesnya 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 5.19. Jenis retakan yang ditemukan pada balok *clamp* adalah retak geser lentur dan retak lekatan, dengan dua retakan parah yang menjalar dari daerah tarik menuju daerah tekan persis dibawah beban titik sebelah barat. Selain itu untuk mengetahui kerusakan pada daerah tulangan dilakukan pembongkaran pada bagian tengah balok dan didapatkan hasil tulangan yang mengalami leleh yang terletak di daerah tepat sebelum sambungan. Hal ini hampir sama dengan penelitian Musyaffa (2022) yang mana keretakan yang paling parah berada di dekat sambungan *clamp*. Kerusakan yang hampir sama terjadi pada tulangan yang ditekek sedemikian rupa, mirip dengan sambungan lewatan yang fungsinya agar tulangan posisinya selevel dengan tulangan lain yang disambung. Tulangan yang ditekek mengalami leleh sehingga setelah dibongkar, tulangan yang ditekek tersebut menjadi lurus dan pada sambungan *clamp* juga terjadi *bending*.



Gambar 5.20 Kondisi Tulangan *Clamp* Setelah Pembongkaran

2. Balok Lewatan



Gambar 5.21 Kondisi Balok Lewatan Setelah Pengujian

Pembebanan pada balok lewatan cenderung sama dengan sampel balok lainnya, hingga pada beban 33,8 kN muncul retak lentur pertama dari daerah tekandi tengah bentang balok.. Pembebanan bersifat dinamis hingga mencapai beban ultimitnya di 110,38 kN, yang merupakan beban tertinggi dari balok lain. Kelelahan tulangan terjadi pada saat beban 85,9 KN yang kemudian menurun menuju beban 82,1 KN hingga akhirnya naik kembali pada saat beban 82,9 KN sampai balok sambungan lewatan mengalami keruntuhan pada saat beban mencapai 110,38 KN. Jenis kerusakan yang terjadi adalah kerusakan geser lentur dan kerusakan lekat. Keretakan mulai muncul yang menandakan adanya kerusakan geser lentur yang mana keretakan ini muncul saat beban mencapai 39,8 KN. Lalu balok mampu berdeformasi dengan baik setelah pelelahan awal pada saat beban 85,93 KN tanpa terjadinya penurunan signifikan dalam hal kapasitas lentur. Kerusakan geser lentur mulai muncul melalui daerah tarik balok yang seiring dengan pembebanan yang terus naik, kerusakan ini akan merambat ke daerah tekan. Kemudian terdapat kerusakan lekat yang terjadi saat pembebanan mencapai 82,15 KN dan muncul tepat di bawah titik pembebanan. Retak terbesar terjadi tepat dibawah beban titik sebelah timur sehingga lendutan tertinggi tidak

berada di tengah bentang melainkan di beban titik bagian timur, hal ini sesuai dengan penelitian Musyaffa (2022) yang mana kerusakan juga berada pada bagian beban titik sebelah timur. Sesuai Gambar 5.20, kerusakan yang paling besar tidak terjadi di tengah bentang balok, melainkan berada di ujung sambungan lewatan, tepatnya pada bagian tekukan tulangan yang disambung agar posisinya selevel dengan tulangan tarik lain. Hal ini disebabkan karena bagian terlemah balok berada pada bagian sambungan lewatan, khususnya pada ujung bagian penyaluran yang ditebuk sedemikian rupa yang posisinya tidak berada pada bagian tengah balok sehingga setelah pengujian didapatkan bahwa tekukan pada ujung penyaluran sambungan tulangan menjadi lurus dikarenakan pembebanan dan gaya tarik yang besar sehingga terjadinya *bending*. Berikut Gambar 5.21 yang merupakan bukti jika tekukan pada ujung penyaluran sambungan menjadi lurus.



Gambar 5.22 Kondisi Tulangan Lewatan Setelah Pembongkaran

5.9 Rencana Anggaran Perakitan Sambungan

Tahap analisis biaya pada penelitian ini menggunakan penelitian yang dilakukan oleh Pungky Dharma Saputra yang berjudul *Analisis Perbandingan*

*Kualitas dan Biaya Penggunaan Mechanical Coupler pada Konstruksi Pier
Proyek MRT Jakarta CP 103 pada tahun 2020.*

Berikut merupakan analisis biaya pada penelitian ini.

a) Data

1) Volume Sambungan Lewatan

Jumlah Sambungan	= 2 Titik
Diameter Baja Tulangan	= 13 mm
Berat Baja Tulangan	= 1,042 kg/m
Panjang Sambungan	= 0,96 m/titik
Kawat Bendrat	= 240 cm

2) Volume Sambungan *Clamp*

Jumlah Sambungan	= 2 Titik
Diameter Baja Tulangan	= 13 mm
Panjang sambungan	= 260 mm
Tebal <i>clamp</i>	= 6 mm
Luas 1 pasang <i>Clamp</i>	= $27 \text{ cm}^2 \times 2 \text{ buah}$ = 54 cm^2
Jumlah <i>clamp</i> per titik	= 4 pasang
Jumlah <i>clamp</i> keseluruhan	= 8 pasang

3) Harga Satuan Material

Tulangan D13 / kg	= $\frac{\text{Harga Tulangan D13 per 12 m}}{\text{Berat Baja Tulangan D13 per meter} \times \text{panjang tulangan}}$ = $\frac{\text{Rp.142.000}}{1,042 \times 12}$ = Rp. 11.356,37
Upah / kg	= Rp. 5.500,00
<i>Clamp</i> Baja 6 mm/ pasang	= Rp. 10.800,00
HTB Grade 8.8	= Rp. 1007,00
Kawat Bendrat	= Rp. 22.000,00

Analisis biaya dilakukan dengan rumus perhitungan biaya pada umumnya.

Total Biaya = Volume \times Harga Satuan

Berikut merupakan tabel 5.15 yang menunjukkan detail perhitungan biaya pada sampel sambungan lewatan.

Tabel 5.15 Detail Perhitungan Biaya Pembuatan Sambungan Lewatan

Biaya Pembuatan Sambungan Lewatan					
No	Deskripsi	Satuan	Volume	Harga Satuan	Total Harga
A	Material				
1	Tulangan Longitudinal Utama	kg	2,00064	Rp 11.356,37	Rp 22.720,00
	Diameter Tulangan = 13 mm				
	Berat Tulangan D13 = 1,042 kg/m				
	Jumlah Sambungan = 2				
	Panjang Sambungan = 0,96 m/titik				
	Kawat Bendrat	kg	0,06155	Rp 22.000,00	Rp 1.354,1
B	Upah				
1	Perakitan	kg	2,00064	Rp 5.500,00	Rp11.003,52
C	Total Biaya				Rp 35.077,00

Berdasarkan Tabel 5.15, diperoleh biaya sambungan sendiri sebesar Rp. 24.054,00 dan biaya upah sebesar Rp. 11.003,52. Kedua biaya tersebut kemudian dijumlah sehingga mendapatkan total biaya sambungan lewatan sebesar Rp. 35.077,00.

Selanjutnya dilakukan perhitungan pada sampel sambungan *clamp*. Berikut merupakan Tabel 5.16 yang menunjukkan detail perhitungan biaya pada sambungan *clamp*.

Tabel 5.16 Detail Perhitungan Biaya Sampel Sambungan Clamp

Biaya Pembuatan Sambungan Clamp					
No	Deskripsi	Satuan	Volume	Harga Satuan	Total Harga
A	Material				
1	<i>Clamp</i> Baja 6 mm	kg	1,808	Rp 10.800,00	Rp. 19.533,31
2	High Tension Bolt Grade 8.8 (mur dan baut)	Buah	16	Rp 1007,00	Rp. 16.112,00
3	Tulangan D13 yang di- <i>clamp</i>	kg	1,04	Rp 11.356,37	Rp. 11.810,62
B	Upah				
1	Pembuatan <i>Clamp</i>	kg	1,808	Rp 5.500,00	Rp. 9.457,52
2	Perakitan	kg	1,808	Rp 5.500,00	Rp. 9.457,52
C	Total Biaya				Rp . 67.350,97

Berdasarkan Tabel 5.16, diperoleh biaya sambungan *clamp* sendiri sebesar Rp. 47.455,93 dan biaya upah yang terdiri dari pembuatan *clamp* dan perakitannya sebesar Rp. 19.895,04. Kedua biaya tersebut kemudian dijumlah sehingga mendapatkan total biaya sambungan lewatan sebesar Rp. 67.350,97.

Berdasarkan Tabel 5.15 dan Tabel 5.16, diperoleh kesimpulan bahwa biaya penggunaan sambungan *clamp* lebih mahal bila dibandingkan dengan biaya penggunaan sambungan lewatan.

Hasil dari analisis biaya pada penelitian ini memiliki hasil yang sama dengan penelitian Pungky (2020) dimana penggunaan sambungan mekanis memiliki biaya yang lebih mahal apabila dibandingkan dengan penggunaan sambungan lewatan.

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 momen nominal pada balok dengan sambungan lewatan sebesar 33,60 kNm, dan balok dengan sambungan mekanis *clamp* sebesar 32,31 kNm. Berdasarkan momen nominalnya, balok dengan sambungan mekanis *clamp* belum bisa menggantikan balok dengan sambungan lewatan.
2. Kapasitas lendutan maksimum yang didapatkan pada balok sambungan lewatan sebesar 69,37 mm dan balok dengan sambungan mekanis *clamp* sebesar 49,02 mm. Sehingga balok dengan sambungan lewatan masih memiliki nilai lendutan yang lebih baik diantara balok lainnya.
3. Analisis biaya yang dilakukan terhadap penggunaan sambungan lewatan dan sambungan *clamp* berturut-turut menghasilkan biaya sebesar Rp. 35.077,00 dan Rp. 67.350,97. Berdasarkan biaya yang diperlukan, disimpulkan bahwa balok beton baja tulangan yang disambung dengan sambungan baja tulangan lewatan mampu memberikan pilihan yang lebih murah dibandingkan balok beton baja tulangan yang disambung dengan sambungan baja *clamp*.
4. Hasil analisis pengujian yang telah dilakukan menghasilkan performa balok dengan sambungan lewatan yang mempunyai nilai momen nominal 3,99% lebih tinggi dibandingkan balok sambungan *clamp* dan nilai lendutan lebih tinggi 41,51% daripada balok dengan sambungan *clamp*. Selain itu, dari segi analisis biaya sambungan lewatan juga

mempunyai biaya pembuatan yang lebih murah dibandingkan dengan sambungan *clamp* dengan perbedaan anggaran mencapai 47,91%.

6.2 Saran

Penelitian yang penulis lakukan masih jauh dari kata sempurna. Berdasarkan kesimpulan yang telah dijelaskan. Berdasarkan persiapan penelitian, proses penelitian, dan hasil penelitian yang telah dilakukan penulis, penulis menyimpulkan beberapa saran berikut ini.

1. Melakukan pengujian pada material plat baja agar mengetahui mutu sebenarnya pada plat baja tersebut.
2. Menggunakan jenis tulangan dan dimensi balok yang berbeda untuk mengetahui performa lentur yang dapat terjadi.
3. Memastikan ulang pengontrolan propertis material terutama karakteristik agregat.
4. Menambahkan jumlah benda uji untuk mengantisipasi adanya *human error*.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 439.3R-91. *Mechanical Connections of Reinforcing Bars. (Reapproved 1999) reported by ACI Committee 439.* John F. McDermott, Chairman.
- Asroni, A., 2010. BALOK DAN PELAT BETON BERTULANG. D. H. 로렌스 연구 0, 0.
- Badan Standarisasi Nasional, 2017. SNI 2052-2017 Baja tulangan beton. SNI 20522017 15.
- B. Sabariman, 2004. Efek pengeangan kolom berlubang beton mutu normal terhadap daktilitas kurvatur. CED, Vol. 6, No. 1, 7–14.
- Djojowiriono, S., 1984, Manajemen Konstruksi. Bandung. Penerbit Nova.
- Firmansyah, A. Y. (2011). Rancang Bangun Aplikasi Rencana Anggaran Biaya Dalam Pembangunan Rumah. Surabaya.
- Ginting, J.F., 2014. Usulan Clamp Sebagai Sambungan Mekanis.
- Ibrahim, 1993 dalam Gia.R. 2015. Perbandingan Antara Biaya Nyata Dengan Biaya Teliti Pada Proyek Konstruksi Gedung Indomaret Sam Ratulangi, Manado. Tekno Vol.13 No.64. Universitas Sam Ratulangi.
- Lianasari, A. E & Siahaan, R. P. 2019. Perilaku lentur balok beton bertulang *high volume fly ash (hvfa)* dengan variasi ukuran butir maksimum agregat. Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Yogyakarta
- Liau, T. C., & Kwan, K. H. (1984). Nonlinear behaviour of nonintegral infilled frames. ” Comput. Struct, 18, 551– 560.
- Mahlisani, N., Teguh, M., 2014. *Flexural performance of RC beams strengthened.pdf* 283–292.
- McCormac, J.C., 2001, Desain Beton Bertulang, Penerbit Erlangga, Jakarta.

- M.F. Musyaffa. 2022. Perbandingan kinerja lentur balok beton bertulang dengan sambungan lewatan dan sambungan mekanis (*clamp*) (*comparison bending behaviour reinforced concrete beams of lapsplince joints and mechanical joints (clamp)*). Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta
- Mukahar, Kholilul RR., Kristiawan SA. 2009. Asesmen Kinerja Struktur Gedung Timbul Jaya Plaza Kota Madiun Pasca Alih Fungsi. Teknik Sipil Universitas Merdeka Madiun. Madiun.
- Nasional, B.S., 2019. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019). Persyaratan Bet. Strukt. untuk Bangunan Gedung 695.
- Park, R & Pauley. 1974. Reinforced Concrete Structure. Department of Civil. University of Canterbury. Christchurch. New Zealand.
- Parmo, Tavio, 2015. Inovasi Sambungan Mekanis Menggunakan Clamp Baja. EMARA Indonesia. J. Archit. 1.
- Punmia, B.C, Ashok, K.J, and Arun, K.J., 2007, Limit State Design of Reinforced Concrete, Published By. Laxmi Publications (P) LTD. New Delhi.
- Putra.S.A.S. 2016. Pengaruh panjang lewatan (ld) dengan sambungan mekanis persegi enam terhadap kuat tarik baja tulangan. Rekayasa Teknik Sipil Vol. 03 Nomor 03/rekat/16 (2016), 130 – 137.
- Rosida. 2007 dalam Supriadi 2016 dalam Putra, A. E. (2017). Pemanfaatan Serat Aluminium Dari Usaha Mikro Menengah Di Kec. Tampan Sebagai Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton (Doctoral dissertation, Universitas Islam Riau).
- Rusdianto, Y., & Septiropa, Z. (2005). Analisa dan Perencanaan Beton Bertulang. Universitas Muhammadiyah Malang.

- Sanapang, C., Sumajouw, M. D., Pandaleke, R., & Dapas, S. O. (2013). Analisa lendutan pada struktur beton bertulang terhadap waktu (time-dependent). *jurnal sipil statik*, 1(3).
- Setiawan, A. 2008. Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD. Erlangga.
- SNI 03-1726-2002. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung.
- SNI 03-1974-1990. Standar Nasional Indonesia. Metode Pengujian Kuat Tekan Beton.
- SNI.03-2834. 2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.
- SNI 03-2847-2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung.
- Standar Nasional Indonesia 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung.
- Wang, C.K. dan Salmon, C. H.,. 1993. Desain Beton Bertulang. Edisi Ke-4. Jilid1. Erlangga: Jakarta.

LAMPIRAN 1

Hasil Uji Kuat Tarik Baja

Tabel L-1.1 Data Pembebanan Baja Tulangan *Clamp*

Beban		Ekstensiometer	Δ Sebenarnya	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ)	Skala gambar	
Kgf	N	(ΔL)10*2mm	ΔL mm	(P/A) Mpa	($\Delta L/L_0$)	r	t
100	981	3	0,03	7,744	0,000115385	1,15	7,744
200	1962	17	0,17	15,488	0,000653846	6,54	15,488
300	2943	38	0,38	23,232	0,001461538	14,62	23,232
400	3924	48	0,48	30,976	0,001846154	18,46	30,976
500	4905	65	0,65	38,721	0,0025	25,00	38,721
600	5886	80	0,8	46,465	0,003076923	30,77	46,465
700	6867	90	0,9	54,209	0,003461538	34,62	54,209
800	7848	96	0,96	61,953	0,003692308	36,92	61,953
900	8829	106	1,06	69,697	0,004076923	40,77	69,697
1000	9810	115	1,15	77,441	0,004423077	44,23	77,441
1100	10791	120	1,2	85,185	0,004615385	46,15	85,185
1200	11772	127	1,27	92,929	0,004884615	48,85	92,929
1300	12753	135	1,35	100,673	0,005192308	51,92	100,673
1400	13734	144	1,44	108,418	0,005538462	55,38	108,418
1500	14715	146	1,46	116,162	0,005615385	56,15	116,162
1600	15696	153	1,53	123,906	0,005884615	58,85	123,906
1700	16677	158	1,58	131,650	0,006076923	60,77	131,650
1800	17658	163	1,63	139,394	0,006269231	62,69	139,394
1900	18639	167	1,67	147,138	0,006423077	64,23	147,138
2000	19620	172	1,72	154,882	0,006615385	66,15	154,882
2100	20601	177	1,77	162,626	0,006807692	68,08	162,626
2200	21582	181	1,81	170,370	0,006961538	69,62	170,370
2300	22563	185	1,85	178,115	0,007115385	71,15	178,115
2400	23544	190	1,9	185,859	0,007307692	73,08	185,859
2500	24525	194	1,94	193,603	0,007461538	74,62	193,603
2600	25506	198	1,98	201,347	0,007615385	76,15	201,347
2700	26487	202	2,02	209,091	0,007769231	77,69	209,091
2800	27468	206	2,06	216,835	0,007923077	79,23	216,835
2900	28449	209	2,09	224,579	0,008038462	80,38	224,579
3000	29430	213	2,13	232,323	0,008192308	81,92	232,323
3100	30411	217	2,17	240,068	0,008346154	83,46	240,068
3200	31392	220	2,2	247,812	0,008461538	84,62	247,812
3300	32373	223	2,23	255,556	0,008576923	85,77	255,556
3400	33354	227	2,27	263,300	0,008730769	87,31	263,300
3500	34335	230	2,3	271,044	0,008846154	88,46	271,044
3600	35316	233	2,33	278,788	0,008961538	89,62	278,788
3700	36297	238	2,38	286,532	0,009153846	91,54	286,532

Lanjutan Tabel L-1.1 Data Pembebanan Baja Tulangan *Clamp*

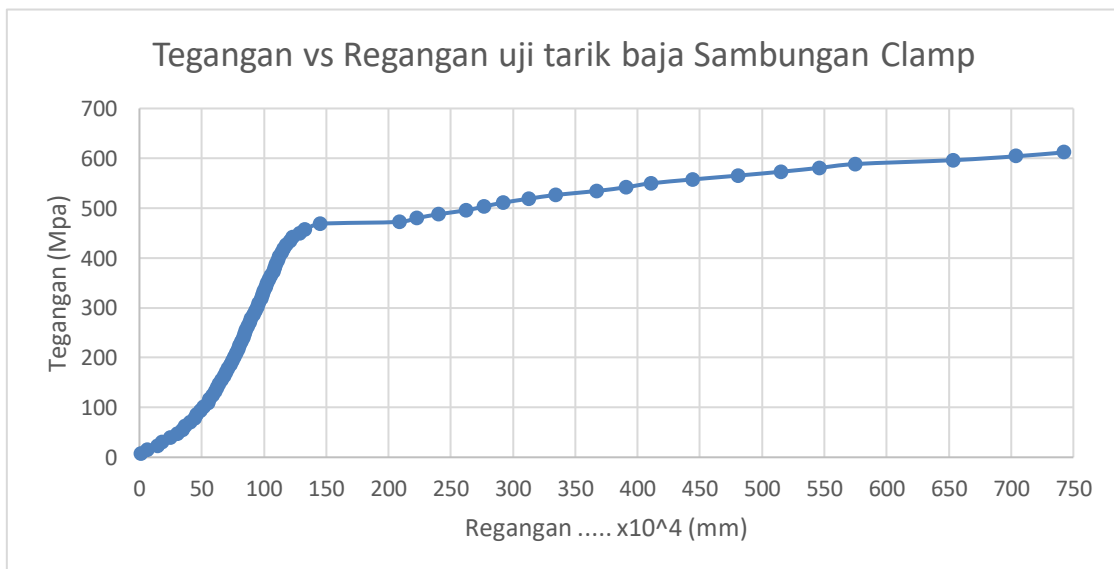
Beban		Ekstensiometer	Δ Sebenarnya	Tegangan (σ)	Regangan (g)	Skala gambar	
Kgf	N	(ΔL) 10^2 mm	ΔL mm	(P/A) Mpa	($\Delta L/L_0$)	r	t
3800	37278	243	2,43	294,276	0,009346154	93,46	294,276
3900	38259	246	2,46	302,020	0,009461538	94,62	302,020
4000	39240	249	2,49	309,765	0,009576923	95,77	309,765
4100	40221	255	2,55	317,509	0,009807692	98,08	317,509
4200	41202	257	2,57	325,253	0,009884615	98,85	325,253
4300	42183	260	2,6	332,997	0,01	100,00	332,997
4400	43164	264	2,64	340,741	0,010153846	101,54	340,741
4500	44145	267	2,67	348,485	0,010269231	102,69	348,485
4600	45126	270	2,7	356,229	0,010384615	103,85	356,229
4700	46107	275	2,75	363,973	0,010576923	105,77	363,973
4800	47088	280	2,8	371,717	0,010769231	107,69	371,717
4900	48069	283	2,83	379,462	0,010884615	108,85	379,462
5000	49050	286	2,86	387,206	0,011	110,00	387,206
5100	50031	290	2,9	394,950	0,011153846	111,54	394,950
5200	51012	292	2,92	402,694	0,011230769	112,31	402,694
5300	51993	298	2,98	410,438	0,011461538	114,62	410,438
5400	52974	302	3,02	418,182	0,011615385	116,15	418,182
5500	53955	307	3,07	425,926	0,011807692	118,08	425,926
5600	54936	315	3,15	433,670	0,012115385	121,15	433,670
5700	55917	320	3,2	441,414	0,012307692	123,08	441,414
5800	56898	335	3,35	449,159	0,012884615	128,85	449,159
5900	57879	346	3,46	456,903	0,013307692	133,08	456,903
6050	59351	378	3,78	468,519	0,014538462	145,38	468,519
6100	59841	543	5,43	472,391	0,020884615	208,85	472,391
6200	60822	580	5,8	480,135	0,022307692	223,08	480,135
6300	61803	625	6,25	487,879	0,024038462	240,38	487,879
6400	62784	682	6,82	495,623	0,026230769	262,31	495,623
6500	63765	720	7,2	503,367	0,027692308	276,92	503,367
6600	64746	760	7,6	511,111	0,029230769	292,31	511,111
6700	65727	813	8,13	518,856	0,031269231	312,69	518,856
6800	66708	870	8,7	526,600	0,033461538	334,62	526,600
6900	67689	955	9,55	534,344	0,036730769	367,31	534,344
7000	68670	1017	10,17	542,088	0,039115385	391,15	542,088
7100	69651	1068	10,68	549,832	0,041076923	410,77	549,832
7200	70632	1155	11,55	557,576	0,044423077	444,23	557,576
7300	71613	1250	12,5	565,320	0,048076923	480,77	565,320
7400	72594	1340	13,4	573,064	0,051538462	515,38	573,064

Lanjutan Tabel L-1.1 Data Pembebanan Baja Tulangan *Clamp*

Beban		Ekstensiometer	Δ Sebenarnya	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ)	Skala gambar	
Kgf	N	$(\Delta L) \dots 10^2 \text{mm}$	$\Delta L \text{ mm}$	(P/A) Mpa	$(\Delta L/L_0)$	r	t
7500	73575	1420	14,2	580,808	0,054615385	546,15	580,808
7600	74556	1495	14,95	588,553	0,0575	575,00	588,553
7700	75537	1700	17	596,297	0,065384615	653,85	596,297
7800	76518	1830	18,3	604,041	0,070384615	703,85	604,041
7900	77499	1930	19,3	611,785	0,074230769	742,31	611,785
7500	73575	1420	14,2	580,808	0,054615385	546,15	580,808

Tabel L-1.1 Hasil Analisis Kuat Tarik Baja Tulangan *Clamp*

Uraian	Hasil	Satuan
Panjang total benda uji (Lt)	700	mm
Panjang pada bagian kecil (bidang uji)	260	mm
Panjang ukur awal benda uji (Lo)	63,4787	mm
Diameter awal benda uji (do) (kecil)	12,7	mm
Diameter contoh asli (D) (besar)	13	mm
Luas penampang benda uji semula (Ao)	126,6769	mm ²
Beban maksimum	8100	kgf
	79461	N
Kuat Tarik Maksimum (Pu)	627,27	Mpa
Kuat Tarik Leleh (Fy)	472,39	Mpa
Regangan Maksimum	373%	%
Konsentrasi Penampang (S)	29%	%



Gambar L-1.1 Kurva Tegangan Regangan Kuat Tarik Baja Tulangan *Clamp*

Tabel L-1.3 Data Pembebanan Baja Tulangan D13

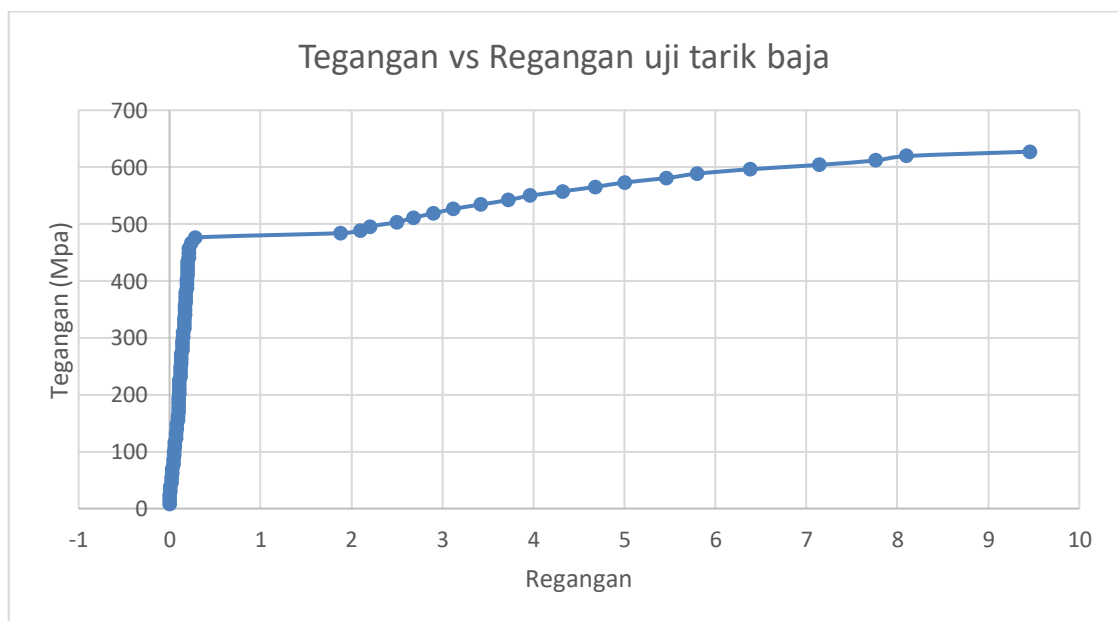
Beban		Ekstensiometer	o Sebenarnya	Tegangan (σ)	Regangan (ε)	Skala gambar	
Kgf	N	(ΔL).... 10 ² mm	ΔL mm	(P/A) Mpa	(ΔL/L _o)	r	t
100	981	0	0	7,744	0	0,00	7,744
200	1962	0	0	15,488	0	0,00	15,488
300	2943	0	0	23,232	0	0,00	23,232
400	3924	0,5	0,005	30,976	0,0001	0,01	30,976
500	4905	0,5	0,005	38,721	0,0001	0,01	38,721
600	5886	1	0,01	46,465	0,0002	0,02	46,465
700	6867	1	0,01	54,209	0,0002	0,02	54,209
800	7848	1,5	0,015	61,953	0,0003	0,03	61,953
900	8829	1,5	0,015	69,697	0,0003	0,03	69,697
1000	9810	2	0,02	77,441	0,0004	0,04	77,441
1100	10791	2	0,02	85,185	0,0004	0,04	85,185
1200	11772	2,5	0,025	92,929	0,0005	0,05	92,929
1300	12753	2,5	0,025	100,673	0,0005	0,05	100,673
1400	13734	3	0,03	108,418	0,0006	0,06	108,418
1500	14715	3	0,03	116,162	0,0006	0,06	116,162
1600	15696	3,5	0,035	123,906	0,0007	0,07	123,906
1700	16677	3,5	0,035	131,650	0,0007	0,07	131,650
1800	17658	4	0,04	139,394	0,0008	0,08	139,394
1900	18639	4	0,04	147,138	0,0008	0,08	147,138
2000	19620	4,5	0,045	154,882	0,0009	0,09	154,882
2100	20601	4,5	0,045	162,626	0,0009	0,09	162,626
2200	21582	5	0,05	170,370	0,001	0,10	170,370
2300	22563	5	0,05	178,115	0,001	0,10	178,115
2400	23544	5	0,05	185,859	0,001	0,10	185,859
2500	24525	5	0,05	193,603	0,001	0,10	193,603
2600	25506	5,5	0,055	201,347	0,0011	0,11	201,347
2700	26487	5,5	0,055	209,091	0,0011	0,11	209,091
2800	27468	5,5	0,055	216,835	0,0011	0,11	216,835
2900	28449	5,5	0,055	224,579	0,0011	0,11	224,579
3000	29430	6	0,06	232,323	0,0012	0,12	232,323
3100	30411	6	0,06	240,068	0,0012	0,12	240,068
3200	31392	6	0,06	247,812	0,0012	0,12	247,812
3300	32373	6,5	0,065	255,556	0,0013	0,13	255,556
3400	33354	6,5	0,065	263,300	0,0013	0,13	263,300
3500	34335	6,5	0,065	271,044	0,0013	0,13	271,044
3600	35316	7	0,07	278,788	0,0014	0,14	278,788
3700	36297	7	0,07	286,532	0,0014	0,14	286,532
3800	37278	7	0,07	294,276	0,0014	0,14	294,276
3900	38259	7,5	0,075	302,020	0,0015	0,15	302,020
4000	39240	7,5	0,075	309,765	0,0015	0,15	309,765
4100	40221	8	0,08	317,509	0,0016	0,16	317,509
4200	41202	8	0,08	325,253	0,0016	0,16	325,253
4300	42183	8	0,08	332,997	0,0016	0,16	332,997
4400	43164	8,5	0,085	340,741	0,0017	0,17	340,741
4500	44145	8,5	0,085	348,485	0,0017	0,17	348,485
4600	45126	8,5	0,085	356,229	0,0017	0,17	356,229
4700	46107	9	0,09	363,973	0,0018	0,18	363,973
4800	47088	9	0,09	371,717	0,0018	0,18	371,717
4900	48069	9	0,09	379,462	0,0018	0,18	379,462
5000	49050	9,5	0,095	387,206	0,0019	0,19	387,206
5100	50031	9,5	0,095	394,950	0,0019	0,19	394,950
5200	51012	9,5	0,095	402,694	0,0019	0,19	402,694
5300	51993	10	0,1	410,438	0,002	0,20	410,438
5400	52974	10	0,1	418,182	0,002	0,20	418,182
5500	53955	10	0,1	425,926	0,002	0,20	425,926
5600	54936	10	0,1	433,670	0,002	0,20	433,670
5700	55917	10,5	0,105	441,414	0,0021	0,21	441,414
5800	56898	10,5	0,105	449,159	0,0021	0,21	449,159
5900	57879	10,5	0,105	456,903	0,0021	0,21	456,903
6025	59105	12	0,12	466,583	0,0024	0,24	466,583
6150	60332	14	0,14	476,263	0,0028	0,28	476,263
6250	61313	94	0,94	484,007	0,0188	1,88	484,007
6300	61803	105	1,05	487,879	0,021	2,10	487,879
6400	62784	110	1,1	495,623	0,022	2,20	495,623
6500	63765	125	1,25	503,367	0,025	2,50	503,367
6600	64746	134	1,34	511,111	0,0268	2,68	511,111

Lanjutan Tabel L-1.3 Data Pembebanan Baja Tulangan D13

Beban		Ekstensiometer	o Sebenarnya	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ)	Skala gambar	
Kgf	N	(ΔL).... 10^2 mm	ΔL mm	(P/A) Mpa	($\Delta L/L_0$)	r	t
7500	73575	273	2,73	580,808	0,0546	5,46	580,808
7600	74556	290	2,9	588,553	0,058	5,80	588,553
7700	75537	319	3,19	596,297	0,0638	6,38	596,297
7800	76518	357	3,57	604,041	0,0714	7,14	604,041
7900	77499	388	3,88	611,785	0,0776	7,76	611,785
8000	78480	405	4,05	619,529	0,081	8,10	619,529
8100	79461	473	4,73	627,273	0,0946	9,46	627,273
7500	73575	273	2,73	580,808	0,0546	5,46	580,808
7600	74556	290	2,9	588,553	0,058	5,80	588,553
7700	75537	319	3,19	596,297	0,0638	6,38	596,297
7800	76518	357	3,57	604,041	0,0714	7,14	604,041
7900	77499	388	3,88	611,785	0,0776	7,76	611,785
8000	78480	405	4,05	619,529	0,081	8,10	619,529
8100	79461	473	4,73	627,273	0,0946	9,46	627,273

Tabel L-1.4 Hasil Analisis Kuat Tarik Baja Tulangan D13

Uraian	Hasil	Satuan
Panjang total benda uji (Lt)	700	mm
Panjang pada bagian kecil (bidang uji)	50	mm
Panjang ukur awal benda uji (Lo)	63,4787	mm
Diameter awal benda uji (do) (kecil)	12,7	mm
Diameter contoh asli (D) (besar)	13	mm
Luas penampang benda uji semula (Ao)	126,6769	mm ²
Beban maksimum	8100	kgf
	79461	N
Kuat Tarik Maksimum (Pu)	627,27	Mpa
Kuat Tarik Leleh (Fy)	476,26	Mpa
Regangan Maksimum	42%	%
Konsentrasi Penampang (S)	28%	%



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

LAMPIRAN 2

Dokumentasi



Gambar L-2.1 Persiapan Pengujian Propertis Material



Gambar L-2.2 Pengujian Tarik Tulangan Baja



Gambar L-2.3 Perakitan Tulangan



**Gambar L-2.4 Pemasangan Tulangan ke Bekisting Serta
Pemasangan *Straingauge***



Gambar L-2.5 Proses *Mixing* Campuran Beton



Gambar L-2.6 Uji Slump



Gambar L-2.7 Proses Pengecoran Benda Uji Utama



Gambar L-2.8 Proses *Curing* Menggunakan Karung Basah



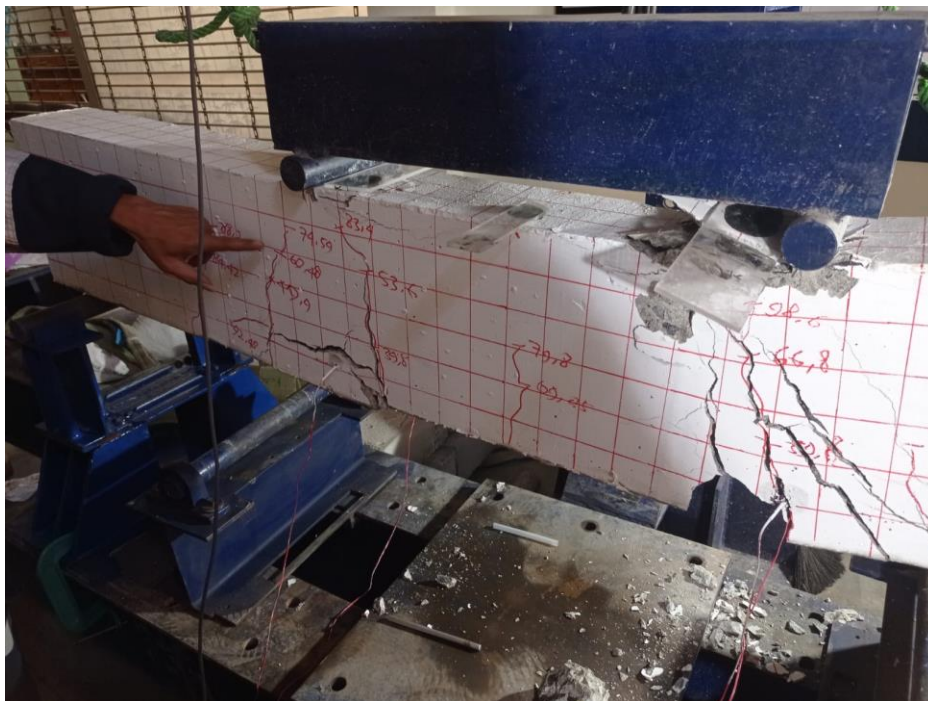
Gambar L-2.9 Proses Pengecatan dan Garis Per 5 cm Pada Balok



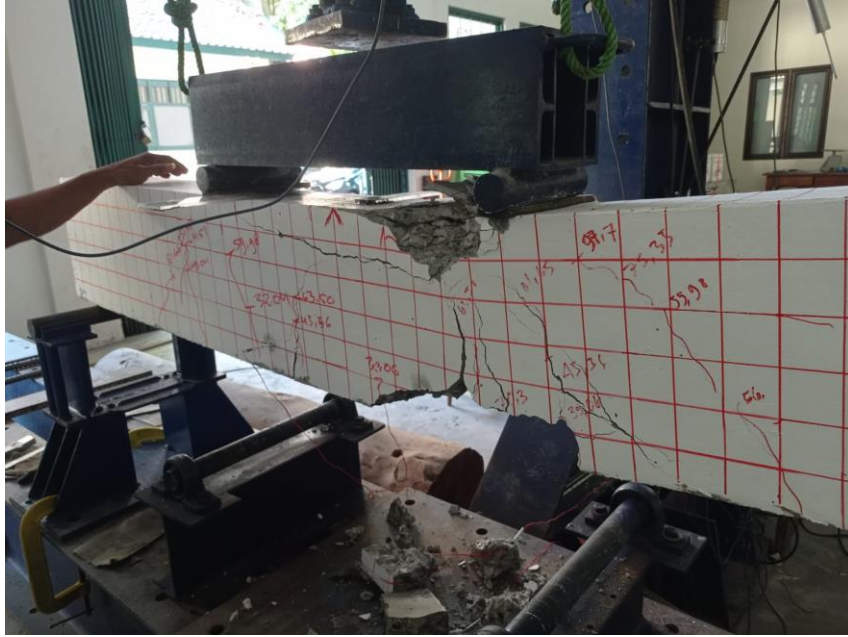
Gambar L-2.10 Proses Pengujian Kuat Tekan



Gambar L-2.11 Proses Pengujian Pembebanan Benda Uji Balok



Gambar L-2.12 Kerusakan Benda Uji Balok Lewatan Setelah Uji Kuat Lentur



Gambar L-2.13 Kerusakan Benda Uji Balok *Clamp* Setelah Uji Kuat Lentur



Gambar L-2.14 Proses Pengecekan Tulangan Setelah Pengujian