

# **PERBANDINGAN KUAT LENTUR ANTARA TULANGAN POLOS DAN ULIR PADA BALOK BETON BERTULANG**

## **SKRIPSI**

Disusun Oleh :  
**RIFKA ULAYYA**  
**15 811 0043**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2019**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 12/16/19

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin [www.situs.medanarea.ac.id](http://www.situs.medanarea.ac.id)

# LEMBAR PENGESAHAN

## PERBANDINGAN KUAT LENTUR ANTARA TULANGAN POLOS DAN ULIR PADA BALOK BETON BERTULANG

### SKRIPSI

*Diajukan untuk Melengkapi Tugas-tugas dan Memenuhi Syarat Menempuh  
Ujian Sarjana Teknik Sipil*


Disusun oleh :

**RIFKA ULAYYA**

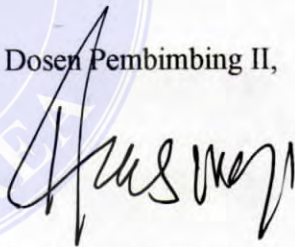
**15 811 043**

Disetujui :

Dosen Pembimbing I,

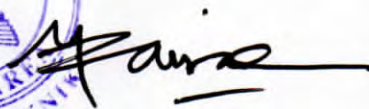
  
(Ir. Nurmaidah, MT)

Dosen Pembimbing II,

  
(Ir. Amsuardiman, MT)

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik,

  
(Dr. Faisal Amri Tanjung, SST, MT)

Ketua Prodi Teknik Sipil,

  
(Ir. Kamaluddin Lubis, MT)

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 12/16/19

Archieves Sites: [medanarea.uma.ac.id](http://medanarea.uma.ac.id)



## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

Sebagai civitas akademik Universitas Medan Area, saya yang betanda tangan di bawah ini :

Nama : Rifka Ulayya

NPM : 15.811.0043

Program Studi : Teknik sipil

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

Demi membangun ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneksklusif ( Non –exclusive Roalty-Free Right) atas karya ilmiah yang berjudul :“Perbandingan Kuat Lentur Antara Tulangan Polos dan Ulir Pada Balok Beton Bertulang“ beserta perangkat yang ada ( jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengolah dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada tanggal : 10 Oktober 2019



Rifka Ulayya

15.811.0043

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 12/16/19

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area ([www.stismedpas.ac.id](http://www.stismedpas.ac.id))

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini yang diberi judul "Perbandingan Kuat Lentur Antara Tulangan Polos dan Ulir Pada Balok Beton Bertulang". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Strata I (S1) di Fakultas Teknik Sipil Universitas Medan Area.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, dukungan dan bantuan dari semua pihak. Penulis mengucapkan banyak terima kasih atas segala bantuan, motivasi dan doa yang diberikan hingga penulis dapat menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Sipil Universitas Medan Area, terutama kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc, selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Bapak Dr. Faisal Amri Tanjung, SST, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area
3. Bapak Ir. Kamaluddin Lubis, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Medan Area.
4. Ibu Ir. Nurmaidah, MT, Sebagai Dosen Pembimbing I
5. Bapak Ir. Amsuardiman, MT, Sebagai Dosen Pembimbing II.
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Staff Pegawai di Fakultas Teknik

Sipil Universitas Medan Area.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 12/16/19

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (www.stps.medanarea.uma.ac.id)

7. Ucapan terima kasih saya yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua saya, Muhammad Anip dan Mila Kartika yang telah banyak memberikan kasih sayang dan dukungan moril maupun materi serta Do'a yang tiada henti untuk penulis.
8. Serta teman-teman seperjuangan stambuk 2015 Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Medan Area yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa melindungi dan memberikan rahmat kasih sayang nya kepada kita semua. Aamiin.

Medan, 10 Oktober 2019

Penulis

  
Rifka Ulayya  
15.811.0043

## ABSTRAK

Beton bertulang sebagai elemen balok harus diberi penulangan yang berupa penulangan lentur dan penulangan geser. Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar yang menyebabkan serat pada permukaan elemen memanjang mengalami tarik dan tekan. Tegangan ini bekerja tegak lurus pada permukaan penampang struktur. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji tentang kekuatan tulangan ulir dan membandingkan dengan kekuatan tulangan polos yang telah lazim digunakan. Penelitian ini bertujuan mengetahui beban lentur maksimal, kuat lentur maksimal, dan besar perbedaannya antara tulangan polos dan ulir pada balok beton bertulang sederhana. Lokasi penelitian adalah di Laboratorium Beton di Prodi Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara. Total sampel benda uji yang dibuat sejumlah 6 buah, tiap variasi dibuat 3 sampel. Variasi yang digunakan adalah dengan tulangan polos pada 3 buah sampel dan tulangan ulir pada 3 buah sampel lainnya sebagai tulangan utama dengan diameter 10 mm. Ukuran balok lebar 15 cm dan tinggi 15 cm, dengan bentang balok 50 cm. Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa pada beban lentur maksimal sebesar 38,07 kN dan kuat lentur maksimal sebesar 5,06 MPa untuk tulangan polos, beban lentur maksimal sebesar 59,67 kN dan kuat lentur maksimal sebesar 7,91 MPa untuk tulangan ulir dan selisih kekuatan lentur antara kedua jenis tulangan tersebut sebesar 21,9% dan terjadi pada beban lentur sebesar 21,1 %. Keretakan yang terjadi pada balok beton bertulang yang menggunakan tulangan polos sebagai tulangan utama terletak di daerah pusat pada ketiga sampel yang diuji. Sedangkan keretakan yang terjadi pada balok beton bertulang yang menggunakan tulangan ulir sebagai tulangan utama terletak di daerah diluar pusat (5% dari jarak antara titik perletakan). Dalam penggunaannya, tulangan ulir lebih disarankan pada konstruksi besar karena dapat menahan beban yang lebih besar dibandingkan tulangan polos. Sedangkan tulangan polos disarankan pada konstruksi sederhana agar lebih ekonomis.

**Kata kunci:** kuat lentur, tulangan ulir, tulangan polos, balok beton bertulang.

## ABSTRACT

**Rifka Ulayya. 158110043. “The Comparison of Flexural Strength between Plain Reinforced and Screw Reinforced to the Reinforced Concrete Beams”. Supervised by Ir. Nurmaidah, M.T. and Ir. Amsuardiman, M.T.**

*Reinforced concrete as the beams element needs to conduct a reinforcement which is bending and sliding reinforcements. Bending on the beam is a result of the strain occurred as there is outside load causing the fiber on the element surface being lengthwise and experiencing drag and pressure. The tension works perpendicular to the structure cross-section surface. The research was conducted to study the strength of screw reinforced and to compare it to the strength of plain reinforced commonly used. This study aimed to find out the maximal bending loads, maximal flexural strength, and substantial differences between plain reinforced and screw reinforced to the simple reinforced concrete beams. The research was conducted at the Concrete Laboratory of Civil Engineering Study Program of the University of North Sumatra. The total sample of testing tools made were 6 tools, each variation made in 3 samples. The variations used were 3 samples on plain reinforced and the other 3 samples on screw reinforced by 10 mm diameter. The beam size was 15 cm width and 15 cm height, by the beam span of 50 cm. Based on the analysis, it was obtained on the maximal bending loads of 38.07 kN and maximal flexural strength of 5.06 MPa to the plain reinforced; on the maximal bending loads of 59.67 kN and maximal flexural strength of 7.91 MPa to the screw reinforced; the difference in flexural strength between both types of the reinforced was 21.9% and occurred on the bending load of 21.1%. Then, the rift occurred on the reinforced concrete beams using the screw reinforced as the main reinforced in the outside core area (5% of the distance between the placement points). In the using, to use the screw reinforced is more suggested on the large construction because it can withstand the larger loads than the plain one. Whereas the plain reinforced is suggested to use on the simple construction which is more economic.*

**Keywords:** *flexural strength, screw reinforced, plain reinforced, reinforced concrete beams.*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kita ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini hingga selesai.

Skripsi ini dapat dikatakan sebagai prasyarat terakhir yang harus dipenuhi untuk memperoleh gelar sarjana teknik dari Universitas Medan Area. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini dapat terselesaikan karena bantuan banyak pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M. Eng., M.Sc., selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Bapak. Dr Faisal Amri Tanjung, S.ST, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Bapak Ir. Kamaluddin Lubis, MT., selaku kaprodi Teknik Sipil Universitas Medan Area.
4. Ibu Nurmaidah, MT., selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam membantu pelaksanaan skripsi ini.
5. Bapak Ir. Amsuardiman MT., selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam membantu pelaksanaan skripsi ini.
6. Seluruh Dosen dan Pegawai di Fakultas Teknik Sipil Universitas Medan Area.
7. Ucapan terima kasih kepada teman-teman yang telah membantu dalam melakukan survey lapangan.

8. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada keluarga terutama kedua orang tua saya, ayah dan ibu saya yang telah banyak memberi kasih sayang dan dukungan moril maupun materi serta doa yang tiada henti untuk penulis.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari bahwa isi maupun teknik penulisannya jauh dari kesempurnaan, maka untuk itu penulis mengharapkan kritikan maupun saran dari para pembaca yang bersifat positif demi menyempurnakan dari skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat khususnya bagi penulis dan umumnya para pembaca sekalian.

Medan, Juli 2019

Penyusun :

Rifka Ulayya

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Maksud dan Tujuan.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metode Pengambilan Data.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Beton.....	4
2.1.1 Beton Bertulang.....	5
2.2 Balok.....	5
2.2.1 Balok Beton Tanpa Tulangan.....	6
2.2.2 Balok Beton Dengan Tulangan.....	7
2.3 Baja Tulangan.....	8
2.3.1 Kekuatan Baja Tulangan.....	8
2.3.2 Hubungan Baja Dan Beton Pada Balok Beton Bertulang.....	9
2.4 Pemasangan Tulangan.....	10
2.4.1 Pemasangan Tulangan Longitudinal.....	10
2.4.2 Pemasangan Tulangan Sengkang.....	11
2.4.3 Jarak Tulangan Pada Balok.....	12
2.4.4. Jumlah Tulangan Maksimum Dalam 1 Baris.....	13
2.5 Angkur (kait) Tulangan.....	15
2.6 Faktor Momen Pikul Maksimum.....	15
2.7 Tebal selimut beton.....	17
2.8 Kombinasi Beban.....	18
2.9 Balok Beton Bertulang.....	19
2.9.1. Distribusi Tegangan Dan Regangan Balok.....	19

2.9.2. Perencanaan Tulangan Longitudinal Balok.....	21
2.9.3. Perencanaan Tulangan Sengkang Balok .....	22
2.9.4. Perhitungan Balok Beton Bertulang.....	24
2.10 Kuat Beton Terhadap Gaya Tarik.....	27
2.12 Kuat Lentur Balok .....	28
2.12.1 Perhitungan Kuat Lentur Balok .....	31
2.12.2 Momen Kapasitas Balok.....	33
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>39</b>
3.1 Gambaran Umum .....	39
3.2 Bahan Penelitian.....	39
3.3 Peralatan Penelitian .....	39
3.4 Lokasi Penelitian .....	40
3.5 Persiapan Pengujian.....	40
3.5.1 Pembuatan Sampel Balok Beton Bertulang.....	40
3.6 Pelaksanaan Penelitian .....	42
3.6.1 Sampel Penelitian .....	42
3.7 Tahapan Penelitian .....	43
<b>BAB IV PEMBAHASAN DAN HASIL .....</b>	<b>46</b>
4.1 Analisa Perhitungan Tulangan .....	46
4.1.1 Penyelesaian Analisa Perhitungan .....	47
4.2 Pengujian Kuat Lentur Balok .....	50
4.2.1 Hasil Pengujian .....	50
4.3 Analisa Perhitungan Kuat Lentur .....	51
4.3.1 Penyelesaian Analisa Perhitungan Kuat Lentur .....	52
4.4 Pembahasan .....	55
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>59</b>
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran .....	59

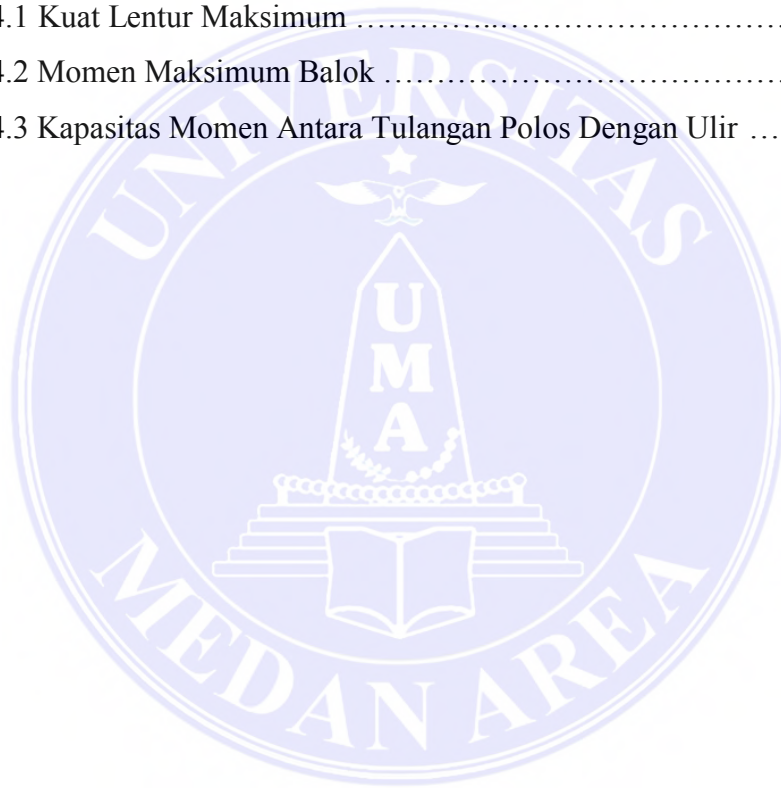
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>61</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>62</b>
<b>FOTO DOKUMENTASI.....</b>	<b>62</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tulangan Ulir Dan Ukurannya.....	9
--------------------------------------------	---

Tabel 2.2	Tegangan Tekan Dan Tarik Baja Yang Diizinkan.....	10
Tabel 2.3	Tegangan Tarik Dan Tekan Baja Leleh Karakteristik.....	10
Tabel 2.4	Faktor Momen Pikul Maksimum.....	16
Tabel 2.5	Tebal Minimum Selimut Beton Dari Jenis Pekerjaan Beton.....	17
Tabel 2.6	Tinggi Minimum Balok Non Prategang.....	24
Tabel 4.1	Kuat Lentur Maksimum .....	51
Tabel 4.2	Momen Maksimum Balok .....	52
Tabel 4.3	Kapasitas Momen Antara Tulangan Polos Dengan Ulir .....	55



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Balok Beton Tanpa Tulangan.....	7
Gambar 2.2 Balok Beton Bertulangan .....	8
Gambar 2.3 Contoh Pemasangan Tulangan Longitudinal Pada Balok Dan Plat...11	
Gambar 2.4 Aturan Pemasangan Tulangan Balok.....	12
Gambar 2.5 Penampang Dan Notasi Balok.....	13
Gambar 2.6 Kait Tulangan Standar.....	15
Gambar 2.7 Distribusi Regangan Dan Tegangan Balok.....	19
Gambar 2.8 Sengkang.....	23
Gambar 2.9 Skema Hitungan Tulangan Longitudinal Balok.....	27
Gambar 2.10 Skematik Pengujian Kuat Lentur.....	29
Gambar 2.11 Garis-Garis Perletakan Dan Pembebanan.....	29
Gambar 2.12 Patah Pada Pusat 1/3 Bentang.....	29
Gambar 2.13 Patah Diluar Pusat 1/3 Bentang .....	30
Gambar 2.14 Baja Tulangan Polos Dan Tulangan Ulir.....	31
Gambar 2.15 Distribusi Tegangan Dan Regangan Balok Bertulangan Rangkap..34	
Gambar 2.16 Bagan Alir Analisa Balok Bertulang.....	38
Gambar 3.1 Alat Uji Kuat Lentur.....	40
Gambar 3.2 Sampel Penelitian .....	42
Gambar 3.3 Skema Penelitian .....	45
Gambar 4.1 Bentang Dan Dimensi Balok Yang Direncanakan .....	46
Gambar 4.2 Potongan Tulangan .....	50
Gambar 4.3 Grafik Kuat Lentur Maksimum .....	51
Gambar 4.4 Grafik Momen Maksimum Antara Tulangan Polos Dengan Ulir.....	53
Gambar 4.5 Retak Pada Balok .....	56
Gambar 4.6 Keretakan Balok Pada Tulangan Polos .....	57
Gambar 4.7 Keretakan Balok Pada Tulangan Ulir.....	57

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Beton merupakan elemen struktur bangunan yang telah dikenal dan banyak dimanfaatkan sampai saat ini. Beton banyak mengalami perkembangan, baik dalam pembuatan campuran maupun dalam pelaksanaan konstruksinya. Salah satu perkembangan beton yaitu pembuatan kombinasi antara material beton dan baja tulangan menjadi satu kesatuan konstruksi yang dikenal sebagai beton bertulang. Beton Bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang direncanakan. Beton bertulang banyak diterapkan pada bangunan-bangunan seperti: gedung, jembatan, perkerasan jalan, bendungan, tandon air dan berbagai konstruksi lainnya. Beton bertulang pada bangunan gedung terdiri dari beberapa elemen struktur, misalnya balok, kolom, plat lantai, pondasi, *sloof*, ring balok, ataupun plat atap.

Kekuatan tarik beton besarnya hanya kira-kira 10% kekuatan tekan. Oleh karena itu hampir seluruh perencanaan konstruksi beton bertulang direncanakan dengan anggapan bahwa beton sama sekali tidak memikul gaya tarik. Tulanganlah yang direncanakan untuk memikul gaya tarik. Pada perencanaan lentur balok beton bertulang, jumlah tulangan dapat ditambah atau dikurangi yang nantinya akan menyebabkan keruntuhan tarik, keruntuhan tekan dan keruntuhan seimbang.

Beton bertulang sebagai elemen balok harus diberi penulangan yang berupa penulangan lentur (memanjang) dan penulangan geser. Penulangan lentur dipakai untuk menahan pembebanan momen lentur yang terjadi pada balok. Penulangan



geser (penulangan sengkang) digunakan untuk menahan pembebanan geser (gaya lintang) yang terjadi pada balok. Menurut SNI 03-2847-2002, tulangan yang dapat digunakan pada elemen beton bertulang di batasi hanya pada Baja Tulangan dan Kawat Baja saja. Baja tulangan yang tersedia di pasaran ada dua jenis, yaitu Baja Tulangan Polos (BJTP) dan Baja Tulangan Ulir atau *Deform* (BJTD). Baja merupakan bahan dengan sifat struktur baik, mempunyai kekuatan yang tinggi dan sama kuat pada kekuatan tarik maupun tekan. Selain itu, tulangan baja juga baik dalam hal menahan kuat lentur yang terjadi pada balok beton bertulang.

## 1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud penelitian ini adalah untuk memberikan analisis tentang kuat lentur Tulangan polos dengan Tulangan ulir pada balok beton bertulang, sedangkan tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat lentur maksimum dan besar beban lentur yang dapat di tahan oleh tulangan polos dan tulangan ulir pada balok beton bertulang serta untuk mengetahui besar perbedaan kuat lentur tulangan polos dengan tulangan ulir balok beton bertulang.

## 1.3 Rumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi topik utama dalam penelitian ini sebagai berikut:

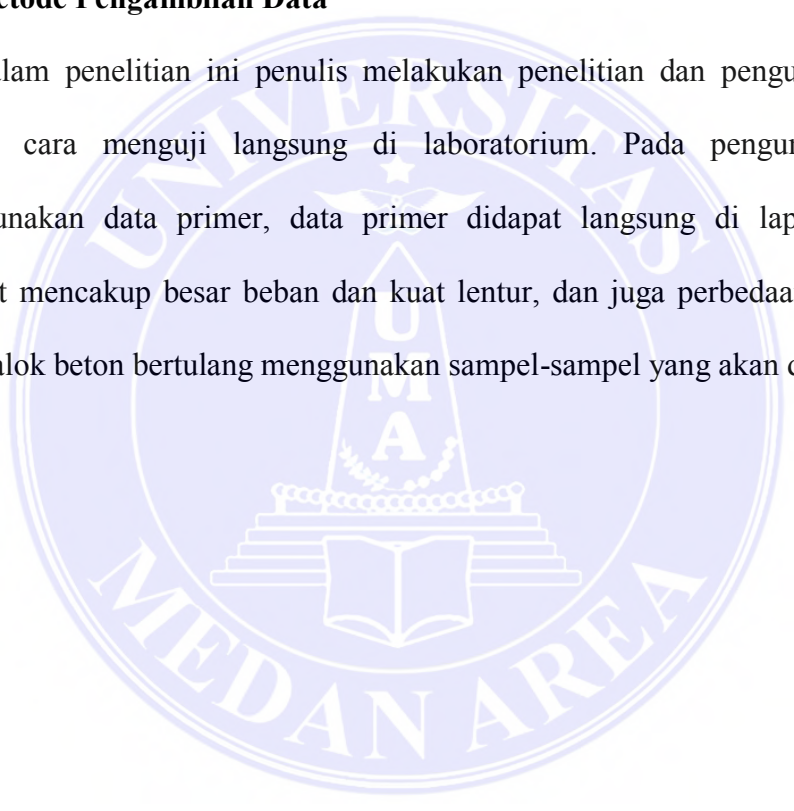
1. Seberapa besar beban lentur dan kuat lentur maksimum yang dapat ditahan oleh tulangan polos dengan tulangan ulir pada balok beton bertulang.
2. Seberapa besar perbedaan kuat lentur pada tulangan polos dengan tulangan ulir pada balok beton bertulang.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Pembatasan masalah dilakukan agar pokok permasalahan tidak meluas dan terfokus pada masalah utama yang akan diteliti. Adapun Batasan masalah yang dibuat dalam penelitian ini adalah menguji seberapa besar beban dan kuat lentur maksimum yang dapat ditahan oleh Tulangan polos dan Tulangan ulir dan juga seberapa besar perbedaan kuat lentur nya pada balok beton bertulang.

#### **1.5 Metode Pengambilan Data**

Dalam penelitian ini penulis melakukan penelitian dan pengumpulan data dengan cara menguji langsung di laboratorium. Pada pengumpulan data menggunakan data primer, data primer didapat langsung di lapangan. Data tersebut mencakup besar beban dan kuat lentur, dan juga perbedaan kuat lentur pada balok beton bertulang menggunakan sampel-sampel yang akan diuji.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Beton**

Beton dibuat dari pencampuran antara bahan–bahan agregat halus dan kasar (yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya), dengan menambahkan bahan perekat semen secukupnya, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Agregat halus dan kasar, disebut sebagai bahan yang diikat pada campuran beton, dan merupakan komponen utama kekuatan tekan beton. Nilai kuat tekan beton relatif tinggi bila dibandingkan dengan kuat tariknya, sehingga beton merupakan bahan bersifat getas atau mudah pecah. Kerja sama antara beton dan baja tulangan (sebagai beton bertulang) hanya dapat terwujud dengan didasarkan pada keadaan–keadaan yaitu lekatan sempurna antara batang tulangan baja dengan beton keras yang membungkusnya sehingga tidak terjadi penggelinciran di antara keduanya, beton yang mengelilingi batang tulangan baja bersifat kedap sehingga mampu melindungi dan mencegah terjadinya karat baja, dan angka muai kedua bahan hampir sama untuk setiap kenaikan suhu satu derajat *Celcius* (angka muai beton 0,000010 sampai 0,000013 sedangkan baja 0,000012), sehingga tegangan yang timbul karena perbedaan nilai dapat diabaikan.

##### **2.1.1 Beton Bertulang**

Material komposit yang terdiri dari beton dan baja tulangan yang ditanam didalam beton disebut beton bertulang. Sifat utama beton adalah sangat kuat didalam menahan beban tekan (kuat tekan tinggi) tetapi lemah

didalam menahan gaya tarik. baja tulangan didalam beton berfungsi menahan gaya tarik yang bekerja dan sebagian gaya tekan.

Sifat utama dari beton, yaitu sangat kuat terhadap beban tekan, tetapi juga bersifat getas/mudah patah atau rusak terhadap beban tarik. Dalam perhitungan struktur, kuat tarik beton ini biasanya diabaikan.

Sifat utama dari baja tulangan, yaitu sangat kuat terhadap beban tekan maupun beban tarik. Karena baja tulangan harganya mahal, maka sedapat mungkin dihindari penggunaan baja tulangan untuk memikul beban tekan.

Dari sifat utama tersebut, maka jika kedua bahan (beton dan baja tulangan) dipadukan menjadi satu kesatuan secara komposit, akan diperoleh bahan baru yang disebut beton bertulang. Beton bertulang ini mempunyai sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beban tarik pada beton bertulang ditahan oleh baja tulangan, sedangkan beban tekan cukup ditahan oleh beton.

## 2.2 Balok

Balok merupakan bagian struktur yang digunakan sebagai dudukan lantai dan pengikat kolom lantai atas. Fungsinya adalah sebagai rangka penguat horizontal bangunan akan beban-beban.

Apabila suatu gelagar balok bentangan sederhana menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok tersebut. Regangan-regangan balok tersebut mengakibatkan timbulnya tegangan yang harus ditahan oleh balok, tegangan tekan di sebelah atas dan tegangan tarik dibagian bawah. Agar stabilitas terjamin, batang balok sebagai

bagian dari sistem yang menahan lentur harus kuat untuk menahan tegangan tekan dan tarik tersebut karena tegangan baja dipasang di daerah tegangan tarik bekerja, di dekat serat terbawah, maka secara teoritis balok disebut sebagai bertulangan baja tarik saja.

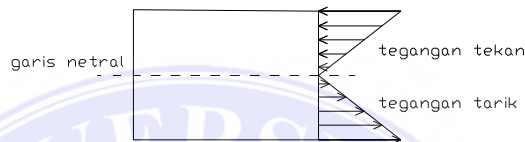
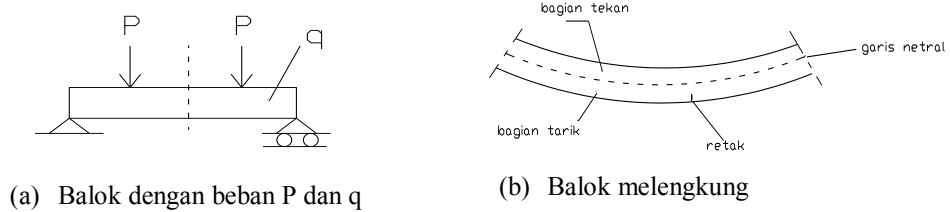
### 2.2.1 Balok beton tanpa tulangan

Sifat dari bahan beton, yaitu sangat kuat untuk menahan tekan, tetapi tidak kuat (lemah) untuk menahan tarik. Oleh karena itu, beton dapat mengalami retak jika beban yang dipikulnya menimbulkan tegangan tarik yang melebihi kuat tariknya.

Jika sebuah balok beton (tanpa tulangan) ditumpu oleh tumpuan sederhana (sendi-rol), dan diatas balok tersebut bekerja beban terpusat ( $P$ ) serta beban merata ( $q$ ), maka akan timbul momen luar, sehingga balok akan melengkung ke bawah seperti tampak pada gambar 2.1 (a) dan Gambar 2.1 (b).

Pada balok yang melengkung ke bawah akibat beban luar ini pada dasarnya ditahan oleh kopel gaya-gaya dalam yang berupa tegangan tekan dan tarik. Jadi pada serat-serat balok bagian tepi atas akan menahan tegangan tekan, dan semakin ke bawah tegangan tekan tersebut akan semakin kecil. Sebaliknya, serat-serat bagian tepi bawah akan menahan tegangan tarik, dan semakin ke atas tegangan tariknya akan semakin kecil pula (lihat Gambar 2.1 (c)). Pada bagian tengah, yaitu pada batas antara tegangan tekan dan tarik, serat-serat balok tidak mengalami tegangan sama sekali (tegangan tekan

maupun tegangan tarik bernilai nol). Serat-serat yang tidak mengalami tegangan tersebut membentuk suatu garis yang disebut garis netral.

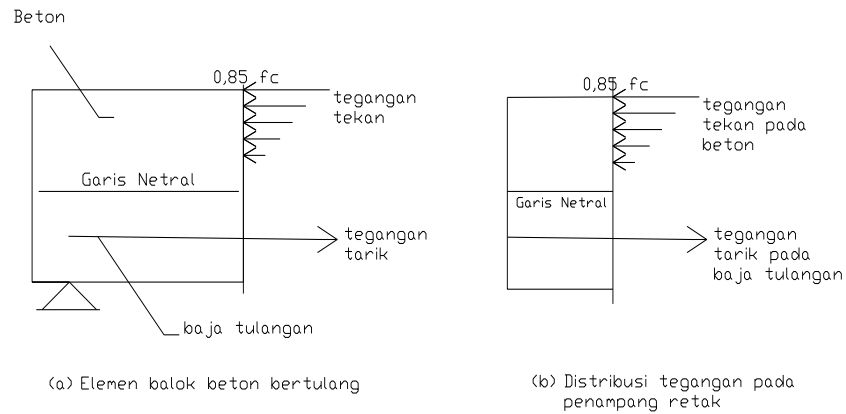


Gambar 2.1 Balok beton tanpa tulangan  
 Sumber: Buku Teori dan Desain Plat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

Jika beban di atas balok itu cukup besar, maka serat-serat beton pada bagian tepi bawah akan mengalami tegangan tarik cukup besar pula, sehingga dapat terjadi retak beton pada bagian bawah. Keadaan ini terjadi terutama pada daerah beton yang momennya besar, yaitu pada bagian tengah bentang.

### 2.2.2 Balok beton dengan tulangan

Untuk menahan gaya tarik yang cukup besar pada serat-serat balok bagian tepi-bawah, maka perlu diberi baja tulangan sehingga disebut dengan istilah “beton bertulang”. Pada balok beton bertulang ini, tulangan baja ditanam di dalam beton sedemikian rupa, sehingga gaya tarik yang dibutuhkan untuk menahan momen pada penampang retak dapat ditahan oleh baja tulangan, seperti tampak pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Balok Beton Bertulang

Sumber: Buku Teori dan Desain Plat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

## 2.3 Baja Tulangan

### 2.3.1 Kekuatan Baja Tulangan

Jenis baja tulangan menurut SNI 03-2847-2013, tulangan yang dapat digunakan pada elemen beton bertulang dibatasi hanya pada baja tulangan dan kawat baja saja. Belum ada peraturan yang mengatur penggunaan tulangan lain, selain dari baja tulangan atau kawat baja tersebut.

Baja tulangan yang tersedia di pasaran ada 2 jenis, yaitu baja tulangan polos (BJTP) dan baja tulangan ulir atau deform (BJTD). Tulangan polos biasanya digunakan untuk tulangan geser/begel/Sengkang, dan mempunyai tegangan leleh ( $F_y$ ) minimal sebesar 240 MPa (Disebut BJTP-24), dengan ukuran  $\phi 6$ ,  $\phi 8$ ,  $\phi 10$ ,  $\phi 12$ ,  $\phi 14$  dan  $\phi 16$  (dengan  $\phi$  adalah symbol yang menyatakan diameter tulangan). Tulangan ulir/deform digunakan untuk tulangan longitudinal atau tulangan memanjang, dan mempunyai tegangan leleh ( $f_y$ ) minimal 300 Mpa (disebut BJTD-30). Ukuran diameter nominal tulangan ulir dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Tulangan ulir dan ukurannya

Jenis Tulangan	Diameter nominal (mm)	Berat per m (kg)
D10	10	0,617
D13	13	1,042
D16	16	1,578
D19	19	2,226
D22	22	2,984
D25	25	3,853
D29	29	5,185

Sumber: Buku Teori dan Desain Balok Pelat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

### 2.3.2 Hubungan Baja Dan Beton Pada Balok Beton Bertulang

Besi beton atau baja tersedia bentuk polos atau ulir serta bervariasi diameternya, seperti D 6mm, D 8mm, D 10mm, D 12mm, D 14mm, D 16mm, D 19mm, dll.

Baja yang menjadi tulangan pada konstruksi beton dan tegangan baja pada kondisi tegangan leleh  $\sigma_y$  merupakan factor penting karena pada keadaan tersebut regangan baja maksimum, sehingga beton di sekitar tulangan ikut mulur sampai hancur.

Perlu diingat kembali bahwa setiap material memiliki modulus elastisitas E sendiri, yang merupakan rasio antara tegangan terhadap regangan. Modulus elastisitas baja E, sebesar  $2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ .



Tabel 2.2 Tegangan tekan dan Tarik baja yang diizinkan

Mutu Baja	Tegangan Tekan dan Tarik Izin Baja $\sigma_a^*$ (kg/cm <sup>2</sup> )	
	Pembebanan Tetap	Pembebanan Sementara
U <sub>22</sub>	1.250	1.800
U <sub>24</sub>	1.400	2.000
U <sub>32</sub>	1.850	2.650
U <sub>39</sub>	2.250	3.200
U <sub>48</sub>	2.750	4.000
U <sub>umum</sub>	0,58 $\sigma_{au}$	0,83 $\sigma_{au}$ atau 0,83 $\sigma_{0,2}$

Sumber : Buku Konsep dan Aplikasi Pengantar Teknik Sipil oleh Encu Sutarman 2013

Tegangan tekan dan tarik baja leleh karakteristik atau yang memberikan tegangan tetap sebesar 0,2% ( $\sigma_{0,2}$ ) ditunjukkan oleh Tabel 2.3 dalam satuan kg/cm<sup>2</sup>.

Tabel 2.3 Tegangan tekan dan tarik baja leleh karakteristik

Mutu Baja U	$\Sigma_{au}$ atau 0,2% ( $\sigma_{0,2}$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
U <sub>22</sub>	2.200	Baja lunak
U <sub>24</sub>	2.400	Baja lunak
U <sub>32</sub>	3.200	Baja Sedang
U <sub>39</sub>	3.900	Baja Keras
U <sub>48</sub>	4.800	Baja Keras

Sumber : Buku Konsep dan Aplikasi Pengantar Teknik Sipil oleh Encu Sutarman

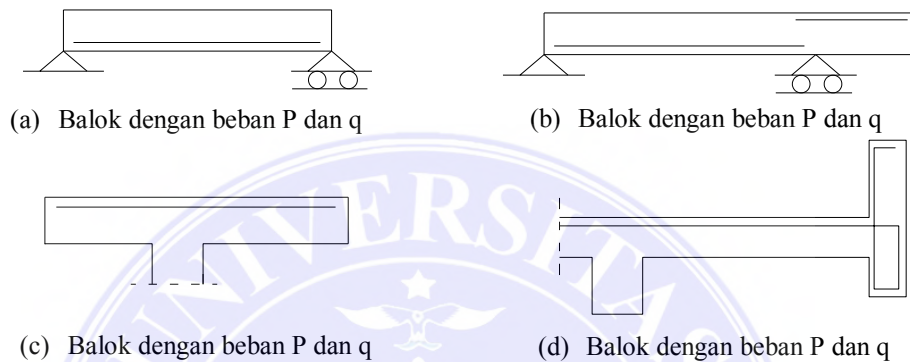
## 2.4 Pemasangan Tulangan

### 2.4.1 Pemasangan tulangan longitudinal

Fungsi utama baja tulangan pada struktur beton bertulang yaitu untuk menahan gaya tarik. Oleh karena itu pada struktur balok, pelat, fondasi, ataupun struktur lainnya dari bahan beton bertulang selalu diupayakan agar tulangan longitudinal (tulangan memanjang) dipasang pada serat-serat beton yang mengalami tegangan tarik. Keadaan ini terjadi terutama pada daerah yang menahan momen lentur besar (umumnya di daerah lapangan / tengah

bentang, atau di atas tumpuan), sehingga sering mengakibatkan terjadinya retakan beton akibat tegangan lentur tersebut.

Tulangan longitudinal ini dipasang searah sumbu batang. Berikut ini diberikan beberapa contoh pemasangan tulangan memanjang pada balok maupun pelat (lihat Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Contoh pemasangan tulangan longitudinal pada balok dan plat  
Sumber: Buku Teori dan Desain Plat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

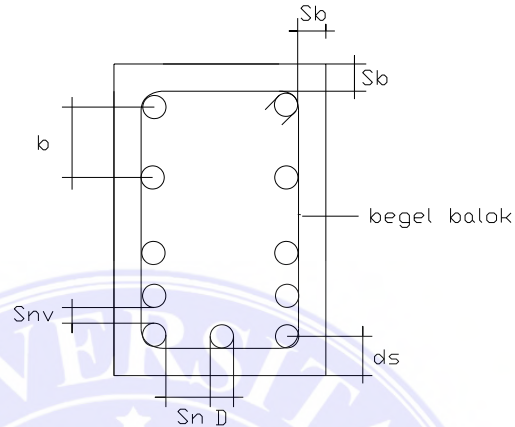
#### 2.4.2 Pemasangan Tulangan Sengkang

Retakan beton pada balok juga dapat terjadi di daerah ujung balok yang dekat dengan tumpuan. Retakan ini disebabkan oleh bekerjanya gaya geser atau gaya lintang balok yang cukup besar, sehingga tidak mampu ditahan oleh material beton dari balok yang bersangkutan.

Agar balok dapat menahan gaya geser tersebut, maka diperlukan tulangan miring atau berupa sengkang. Jika sebagai penahan gaya geser hanya digunakan sengkang saja, maka pada daerah dengan gaya geser besar (misalnya pada ujung balok yang dekat tumpuan) dipasang sengkang dengan jarak yang rapat sedangkan pada daerah dengan gaya geser kecil (lapangan) dapat dipasang sengkang dengan jarak yang lebih besar/renggang.

### 2.4.3 Jarak tulangan pada balok

Tulangan longitudinal maupun sengkang balok diatur pemasangannya dengan jarak tertentu, seperti dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.4 Aturan pemasangan tulangan balok

Sumber: Buku Teori dan Desain Plat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

Keterangan Gambar 2.4:

$S_b$  = tebal selimut beton minimum (Pasal 7.7.1 SNI 2847-2013).

Jika berhubungan dengan tanah/cuaca:

Untuk  $D \geq 19$  mm, tebal  $S_b = 50$  mm

Untuk  $D \leq 16$  mm, tebal  $S_b = 40$  mm

Jika tak berhubungan dengan tanah/cuaca tebal  $S_b = 40$  mm

$b$  = jarak maksimum (as-as) tulangan samping (3.3.6.7 SK SNI T-15-1991-03), diambil  $\leq 300$  mm dan  $\leq (1/6)$  kali tinggi efektif balok. Tinggi efektif = tinggi balok –  $d_s$  atau  $d = h - d_s$ .

$S_{sv}$  = jarak bersih tulangan pada arah vertical (Pasal 7.6.2 SNI 2847-2013) diambil  $\geq 25$  mm, dan  $\geq D$ .

$S_n$  = jarak bersih tulangan pada arah mendatar (Pasal 7.6.1 SNI 2847-2013) diambil  $\geq 25$  mm, dan  $\geq D$ , dan disarankan  $\frac{4}{3} \phi_{agregat maks}$ ,

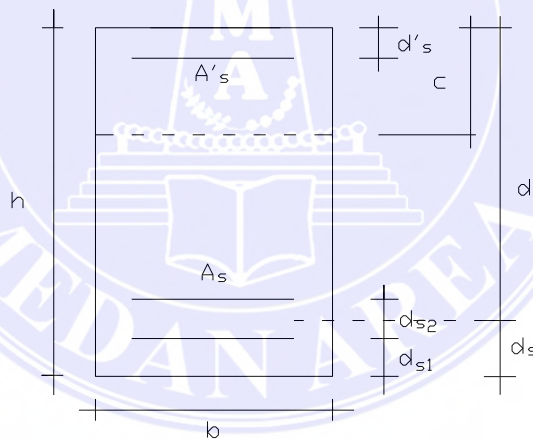
untuk memudahkan pengecoran (agar kerikil dapat memasuki celah tulangan).

$D$  = diameter tulangan longitudinal, mm.

$d_s$  = jarak titik berat tulangan tarik sampai serat tepi beton bagian tarik. Sebaiknya diambil  $\geq 60$  mm

#### 2.4.4 Jumlah tulangan maksimum dalam 1 baris

Dimensi struktur biasanya diberi notasi  $b$  dan  $h$ , dengan  $b$  adalah ukuran lebar dan  $h$  adalah ukuran tinggi total dari penampang struktur (lihat Gambar 2.6). Sebagai contoh dimensi balok ditulis dengan  $b/h$  atau  $150/150$ , berarti penampang dari balok tersebut berukuran lebar balok  $b = 150$  mm dan tinggi balok  $h = 150$  mm.



Gambar 2.5 Penampang dan notasi balok  
Sumber: Buku Teori dan Desain Plat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

Keterangan Gambar 2.5:

$A_s$  = luas tulangan tarik,  $\text{mm}^2$

$A'_s$  = luas tulangan tekan,  $\text{mm}^2$

$b$  = lebar penampang balok, mm

$c$  = jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan, mm

- d = tinggi efektif penampang balok, mm
- $d_{s1}$  = jarak antara titik berat tulangan tarik baris pertama dan tepi serat beton tarik, mm
- $d_{s2}$  = jarak antara titik berat tulangan tarik baris pertama dan kedua, mm
- $d_{s''}$  = jarak antara titik berat tulangan tekan
- h = tinggi penampang balok, mm

Karena lebar balok terbatas pada nilai b, maka jumlah tulangan yang dapat dipadang pada 1 baris (m) juga terbatas. Jika hasil hitungan tulangan balok diperoleh jumlah tulangan (n) ternyata lebih besar daripada nilai m, maka terpaksa dipasang tulangan pada baris berikutnya. Jumlah tulangan maksimum pada 1 baris (m) tersebut ditentukan dengan persamaan berikut:

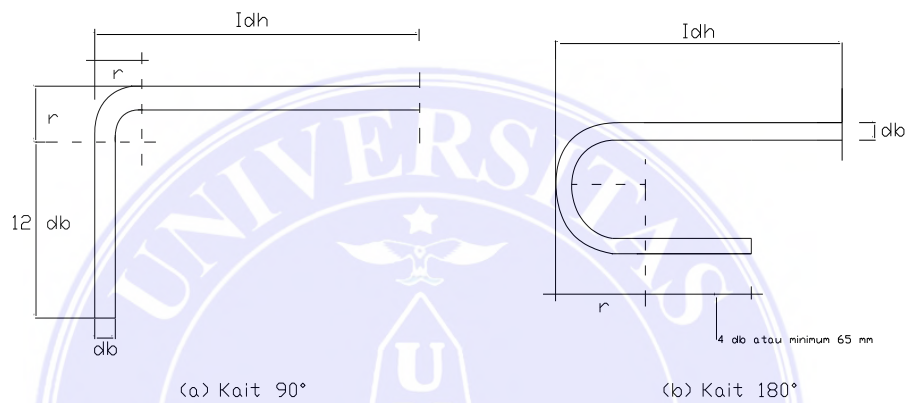
$$m = \frac{b - d_s}{S_n + D} + 1 \dots\dots\dots(i)$$

Dengan:

- m = jumlah tulangan maksimum yang dapat dipasang pada 1 baris.
- $S_n$  = jarak bersih tulangan pada arah mendatar (Pasal 7.6.1 SNI 2847-2013) diambil  $\geq 25$  mm, dan  $\geq D$ , dan disarankan  $4/3 \phi_{agregat}$  maks, untuk memudahkan pengecoran (agar kerikil dapat memasuki celah tulangan).
- D = diameter tulangan longitudinal, mm.
- b = lebar penampang balok, mm
- $d_{s1}$  = jarak antara titik berat tulangan tarik baris pertama dan tepi serat beton tarik, mm

## 2.5 Angkur (kait) Tulangan

Kait tulangan digunakan sebagai angkur tambahan pada suatu keadaan apabila daerah angkur yang tersedia pada elemen struktur tidak mencukupi kebutuhan panjang penyaluran tulangan lurus. Panjang penyaluran tulangan kait diberi notasi dengan  $I_{dh}$ . Bentuk kait standar yang biasa digunakan pada struktur beton ada 2 macam, yaitu kait  $90^\circ$  dan kait  $180^\circ$  seperti terlukis pada gambar 2.3.



Gambar 2.6 Kait tulangan Standar

Sumber : Buku Teori dan Desain Balok Plat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

Pada Gambar 2.6, jari jari luar bengkokan tulangan ( $r$ ) ditentukan berikut (Pasal 12.5.1 SNI 2847-2013) :

1. Untuk diameter 10 mm hingga 25 mm,  $r \geq 4db$
2. Untuk diameter 29 mm hingga 36 mm,  $r \geq 5db$
3. Untuk diameter 43 mm hingga 57 mm,  $r \geq 6db$

## 2.6 Faktor Momen Pikul Maksimum

Faktor momen pikul maksimum ( $K_{maks}$ ) hanya bergantung pada mutu beton ( $\beta_1$  dan  $f'_c$ ) serta mutu baja tulangan ( $f_y$ ) saja, dan tidak bergantung pada ukuran penampang balok. Oleh karena itu nilai  $K_{maks}$  juga dapat ditabelkan seperti terlihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Faktor momen pikul maksimum ( $K_{maks}$ ) dalam MPa.

Mutu beton $f_c$ (MPa)	Mutu baja tulangan $f_y$ (Mpa)				
	240	300	350	400	450
15	4,4839	4,2673	4,1001	3,9442	3,7987
20	5,9786	5,6897	5,4668	5,2569	5,0649
25	7,4732	7,1121	6,8335	6,5736	6,3311
28	8,3700	7,9656	7,6535	7,3625	7,0908
30	8,8608	8,4291	8,0965	7,7866	7,4976
35	10,0179	9,5200	9,1376	8,7822	8,4514
40	11,0711	10,5103	10,0809	9,6827	9,3129
45	12,0157	11,3959	10,9227	10,4848	10,0787
50	12,8473	12,1730	11,6595	11,1852	10,7463

Sumber: Buku Teori dan Desain Pelat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

Catatan untuk tabel 2.4:

Jika mutu beton ( $f'_c$ ) dan atau mutu baja tulangan ( $f_y$ ) tidak sesuai dengan yang tercantum pada tabel 2.4 diatas, maka faktor momen pikul maksimum ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$K_{maks} = \frac{382,5 \beta_1 f'_c (600 + Fy - 225 \beta_1)}{(600 + Fy)^2} \dots\dots\dots(ii)$$

Untuk  $f'_c$ : (17 ~ 28) Mpa, maka  $\beta_1 = 0,85$

Untuk  $f'_c > 28$  Mpa, maka:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (F_c - 28)}{7} \dots\dots\dots(iii)$$

tetapi  $\beta_1 \geq 0,65$ .

Hubungan antara faktor momen pikul K dan faktor momen pikul  $K_{maks}$  dalam perencanaan beton bertulang dengan tulangan tunggal, dapat diperjelas lagi sebagai berikut:

- 1) Jika nilai  $K \leq K_{maks}$ , maka ukuran penampang balok beton dapat dipakai (sudah cukup), dan balok dapat dihitung dengan tulangan tunggal .
- 2) Jika nilai  $K \geq K_{maks}$ , maka balok tidak boleh direncanakan dengan tulangan tunggal, maka harus direncanakan tulangan rangkap.

## 2.7 Tebal Selimut Beton

Pada konstruksi beton bertulang dicor ditempat, harus mempunyai selimut atau penutup beton. Tebal minimum selimut beton dari jenis pekerjaan ditunjukkan oleh tabel 2.5;

Tabel 2.5 Tebal minimum selimut beton dari jenis pekerjaan beton

Jenis Konstruksi	Tebal Minimum Selimut Beton (cm)		
	Di dalam	Di luar	Tidak Terlihat
Pelat dan selaput	1,0	1,5	2,0
Dinding dan keeping	1,5	2,0	2,5
Balok	2,0	2,5	3,0
Kolom	2,5	3,0	3,5

Sumber : Buku Konsep dan Aplikasi Pengantar Teknik Sipil oleh Encu Sutarman 2013

Dengan :

Di dalam : Beton terlindung dari pengaruh cuaca dan air.

Di luar : Beton yang kontak dengan pengaruh cuaca dan air.

Tak Terlihat : Setelah di cor beton tidak dapat diperiksa kembali.

## 2.8 Kombinasi Beban

Faktor keamanan sangat diperlukan dalam setiap perencanaan struktur bangunan. Faktor keamanan mencegah kemungkinan terjadinya runtuh yang membahayakan bagi penghuni juga memperhitungkan faktor ekonomi bangunan,



sehingga dalam perencanaan, struktur gedung mampu memikul beban yang lebih besar dari beban yang direncanakan dengan dimensi elemen struktur tetap ekonomis.

Besar faktor beban yang diberikan untuk masing-masing beban yang bekerja pada suatu penampang struktur akan berbeda-beda, tergantung dari jenis kombinasi beban yang bersangkutan. Menurut pasal 11.2 SNI 03-2847-2002, agar supaya struktur dan komponen struktur memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai terhadap bermacam-macam kombinasi beban, maka harus dipenuhi ketentuan dari kombinasi-kombinasi beban terfaktor sebagai berikut :

- a) Jika struktur atau komponen struktur hanya menahan beban mati D saja, maka dirumuskan

$$U = 1,4 D \dots\dots\dots(iv)$$

- b) Jika berupa kombinasi beban mati D dan beban hidup L, maka dirumuskan

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5A \dots\dots\dots(v)$$

- c) Jika berupa kombinasi beban mati D, beban hidup L dan beban angin W, maka diambil pengaruh yang besar dari dua macam rumus berikut:

$$U = 1,2D + 1,0 L \pm 1,6 W + 0,5 A \dots\dots\dots(vi)$$

$$U = 0,9 D \pm 1,6 W \dots\dots\dots(vii)$$

- d) Jika pengaruh beban gempa E diperhitungkan, maka diambil yang besar dari dua macam rumus berikut :

$$U = 1,2D + 1,0 L \pm 1,0E \dots\dots\dots(viii)$$

$$U = 0,9 D \pm 1,0 E \dots\dots\dots(ix)$$

Dengan :

U = kombinasi beban terfaktor

D = Beban Mati (Dead Load)

L = Beban Hidup (Life Load)

A = Beban hidup Atap

W = Beban angin (Wind Load)

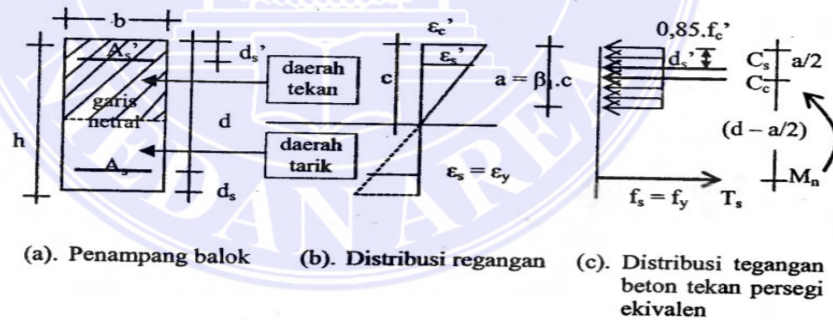
E = Beban Gempa (Earth Quake Load), ditetapkan berdasarkan ketentuan SNI 03-1726-1989-F, Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung, atau penggantinya.

## 2.9 Balok Beton Bertulang

### 2.9.1 Distribusi Regangan dan Tegangan Balok

Regangan dan tegangan yang terjadi pada balok dilukiskan seperti

Gambar 2.7.



Gambar 2.7 . Distribusi Regangan dan Tegangan Balok

Keterangan notasi pada gambar 2.7 :

a = tinggi balok tegangan beton tekan persegi ekivalen =  $\beta_1 \cdot c$ , dalam mm

$A_s$  = luas tulangan tarik, mm<sup>2</sup>

$A's$  = luas tulangan tekan, mm<sup>2</sup>

- b = lebar penampang balok, mm
- c = jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan, mm
- Cc = gaya tekan beton, kN
- Cs = gaya tekan baja tulangan, kN
- d = tinggi efektif penampang balok, mm
- ds = jarak antara titik berat tulangan tarik baris dan tepi serat beton tarik, mm
- ds'' = jarak antara titik berat tulangan tekan baris dan tepi serat beton tekan, mm
- Es = modulus elastisitas baja tulangan, diambil sebesar 200.000 Mpa
- fc'' = tegangan tekan beton yang disyaratkan pada umur 28 hari, Mpa
- fs = tegangan tarik baja tulangan =  $\epsilon_s \cdot E_s$  dalam Mpa.
- fs'' = tegangan tekan baja tulangan =  $\epsilon_s \cdot E_s$  dalam Mpa.
- fy = tegangan tarik baja tulangan pada saat leleh, Mpa.
- h = tinggi penampang balok, mm
- Mn = momen nominal aktual, kNm
- Ts = gaya tarik baja tulangan, kN
- $\beta_1$  = faktor pembentuk balok tegangan beton tekan persegi ekuivalen, yang nilainya bergantung pada mutu beton.
- $\epsilon_{c''}$  = regangan tekan beton, dengan  $\epsilon_{c''}$  maksimal ( $\epsilon_{cu''}$ ) = 0,003
- $\epsilon_s$  = regangan tarik baja tulangan =  $f_s/E_s$
- $\epsilon_s''$  = regangan tekan baja tulangan =  $f_s''/E_s$
- $\epsilon_y$  = regangan tarik baja tulangan pada saat leleh =  $f_y/E_s = f_y / 200000$

Pada perencanaan beton bertulang, regangan tulangan tarik selalu diperhitungkan sudah leleh, yaitu  $\epsilon_s = \epsilon_y$  dengan  $\epsilon_y = f_y/E_s$  atau  $\epsilon_y = f_y / 200000$ . Sedangkan untuk tulangan tekan, regangan tulangan tekan belum tentu leleh.

### 2.9.2 Perencanaan Tulangan Longitudinal

Jika balok menahan momen lentur cukup besar, maka pada serat-serat balok bagian atas akan mengalami tegangan tekan dan pada serat-serat balok bagian bawah mengalami tegangan tarik. Untuk serat-serat balok bagian atas yang mengalami tegangan tekan, tegangan ini akan ditahan oleh beton, sedangkan untuk serat-serat balok yang mengalami tegangan tarik akan ditahan oleh baja tulangan, karena kuat tarik beton diabaikan (Pasal 12.2.5 SNI 03-2847-2002). Pada perencanaan beton bertulang, diusahakan kekuatan beton dan baja agar dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya. Untuk beton, karena sangat kuat menahan beban tekan, maka dimanfaatkan kuat tekan beton jangan sampai melebihi batas runtuh pada regangan tekan beton maksimal ( $\epsilon_{cu}'$ ) = 0,003. Sedangkan untuk baja tulangan tarik yang ditanam di dalam beton, dapat dimanfaatkan kekuatan sepenuhnya sampai mencapai batas leleh, yaitu nilai tegangan tarik baja  $f_s$  sama dengan tegangan leleh  $f_y$ .

a). Gaya tekan beton.

Gaya tekan beton dapat diperhitungkan dari hubungan tegangan regangan beton pada Gambar 2.7. Karena gaya merupakan hasil kali antara tegangan dan luas penampangnya, maka dari gambar 2.7.(c) dengan blok tegangan tekan persegi ekuivalen dihitung besar gaya tekan beton  $C_c$  sebagai berikut:

$$C_c = 0,85 \cdot f_c'' \cdot a \cdot b \dots \dots \dots (x)$$

b). Gaya tarik baja tulangan. Gaya tarik baja tulangan (Ts) dapat dihitung dengan cara membuat perkalian antara luas baja tulangan dan tegangan lelehnya, yaitu sebagai berikut :

$$T_s = A_s'' \cdot f_y \dots \dots \dots (xi)$$

c). Luas tulngan longitudinal balok. Karena balok dalam keadaan setimbang, maka gaya tekan beton akan sama dengan gaya tarik baja tulangan. Substitusi dari persamaan (x) dan persamaan (xi) akan diperoleh luas tulangan balok (As ) sebagai berikut:

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f_c'' \cdot a \cdot b}{f_y} \dots \dots \dots (xii)$$

### 2.9.3 Perencanaan Tulangan Sengkang

Perencanaan sengkang untuk komponen-komponen struktur terlentur didasarkan pada anggapan bahwa beton menahan sebagian dari gaya geser, sedangkan kelebihan atau kekuatan geser di atas kemampuan beton untuk menahannya dilimpahkan kepada tulangan baja geser. Cara yang umum dilaksanakan dan lebih sering dipakai untuk penulangan geser adalah dengan menggunakan sengkang. Dalam hal ini selain pelaksanaannya lebih mudah juga menjamin ketepatan pemasangannya. Penulangan dengan sengkang hanya memberikan andil terhadap sebagian pertahanan geser, karena formasi atau arah retak yang miring. Cara penulangan demikian terbukti mampu memberikan sumbangan untuk peningkatan kuat geser ultimit komponen struktur yang mengalami lenturan.



Gambar 2.8 Sengkang

Kekuatan geser tulangan sengkang ini dipengaruhi oleh kekuatan geser beton ( $V_c$ ) dan juga beban geser yang bekerja pada balok beton bertulang ( $V_u$ ). Persamaan Pasal 13.3.1 SNI 03-2847-2013 untuk komponen struktur yang menahan geser dan lentur saja, memberikan kapasitas kemampuan beton (tanpa penulangan geser) untuk menahan gaya geser adalah  $V_c$  dengan rumus :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b d \dots\dots\dots(xiii)$$

dengan:

- $V_c$  = Kuat geser beton (N)
- $f'_c$  = Kuat tekan beton (N/mm<sup>2</sup>)
- $b$  = Lebar efektif penampang balok (mm)

Kuat geser ideal beton dikenakan faktor reduksi kekuatan  $\phi = 0,75$ . Sedangkan kuat geser rencana  $V_u$  didapatkan dari hasil penerapan faktor beban. Nilai  $V_u$  lebih mudah ditentukan dengan menggunakan diagram gaya geser. Meskipun secara teoritis tidak perlu penulangan geser apabila  $V_u \leq \phi V_c$ , peraturan mengharuskan untuk selalu menyediakan penulangan geser minimum pada semua bagian struktur beton yang mengalami lenturan (meskipun menurut perhitungan tidak memerlukannya), kecuali untuk plat dan fondasi plat, struktur balok beton rusuk. Ketentuan tulangan geser minimum tersebut untuk menjaga apabila

timbul beban yang tak terduga pada komponen struktur yang akan mengakibatkan kerusakan (kegagalan) geser.

#### 2.9.4 Perhitungan Balok Beton Bertulang

1. Tentukan tinggi penampang dengan metoda *trial-error*. SNI 2847-2013 Beton sudah mengatur tentang ukuran balok. Di pasal 9.5.2.1 memberikan tinggi penampang ( $h$ ) minimum pada balok maupun plat seperti tercantum pada tabel 2.6.

Tabel 2.6. Tinggi ( $h$ ) minimum balok non prategang

Komponen Struktur	Tinggi minimum, $h$			
	Tertumpu Sederhana	Satu Ujung Menerus	Kedua ujung menerus	kantilever
Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lain yang akan rusak oleh lendutan yang besar				
Plat masif satu arah	L/20	L/24	L/28	L/10
Balok atau plat rusuk satu arah	L/16	L/18,5	L/21	L/8

Sumber: Buku Teori dan Desain Balok Pelat Beton Bertulang Oleh Ali Asroni 2017

Jika  $H_{\min}$  telah diketahui, kita dapat memperkirakan tinggi balok yang akan didesain, biasanya dengan menambahkan 100 sampai 200 mm dari  $H_{\min}$ . Sementara lebar balok ( $b$ ), normalnya dapat diambil sekitar  $0.4 - 0.6 H_{\min}$ .

2. Setelah itu tentukan nilai jarak antara pusat berat tulangan tarik dan tepi serat beton tekan ( $d$ ) dalam mm, dengan rumus sebagai berikut:

$$d = H_{\min} - \text{tebal selimut beton} \dots \dots \dots (xiv)$$

SNI juga sudah mengatur tebal selimut beton minimum (pasal 7.7). Tujuan dari selimut beton adalah melindungi tulangan dari “serangan” korosi akibat uap air yang dapat masuk melalui celah-celah beton yang retak. Untuk daerah ekstrim, misalnya daerah dekat laut yang kadar garam uap airnya tinggi, tebal selimut beton harus ditambah.

3. Hitung  $d_s$ , jarak antara titik berat tulangan dan tepi serat beton dan  $d$ , tinggi efektif penampang balok, dengan rumus sebagai berikut:

$$d_s = \frac{S_b}{1/2D} + \phi \text{sengkang} \quad \text{---(xv)}$$

$$d = H - d_s \quad \text{---(xvi)}$$

Dengan:

$d_s$  = jarak antara pusat berat tulangan tarik dan tepi serta beton tarik, mm

$S_b$  = Selimut beton, mm

$D$  = Diameter tulangan, mm

$H$  = Tinggi penampang balok, mm

4. Tentukan jumlah tulangan maksimal yang dipasang perbaris ( $m$ ), dengan rumus sebagai berikut:

$$m = \frac{b-ds}{S_n+D} + 1 \quad \text{---(xvii)}$$

5. Tentukan Momen perlu ( $M_u$ ) dalam satuan Nmm, dengan rumus sebagai berikut:

$$M_u = 1/8 q l^2 \quad \text{---(xviii)}$$



6. Hitung nilai tinggi blok tegangan tekan beton persegi ekuivalen (a) dalam satuan mm, dengan rumus sebagai berikut:

$$a =$$

$$\frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} \dots\dots\dots(xix)$$

Catatan : 0.85 pada persamaan di atas bukan nilai  $\phi$ , juga bukan  $\beta_1$ . 0.85 itu adalah mm. Reduksi kuat tekan beton aktual terhadap kuat tekan beton silinder. Jadi, jika dikatakan beton mutu tekan f'c 30 MPa, maka beton itu akan mulai hancur pada tekanan  $0.85 \times 30 = 25.5$  MPa. Angka 0,85 f'c juga digunakan pada perhitungan desain kolom beton (terhadap beban aksial tekan).

7. Hitung luas tulangan perlu (As) dalam mm<sup>2</sup>, dengan rumus sebagai berikut:

$$A_s = \frac{0,85 F_c a b}{f_y} \dots\dots\dots(xx)$$

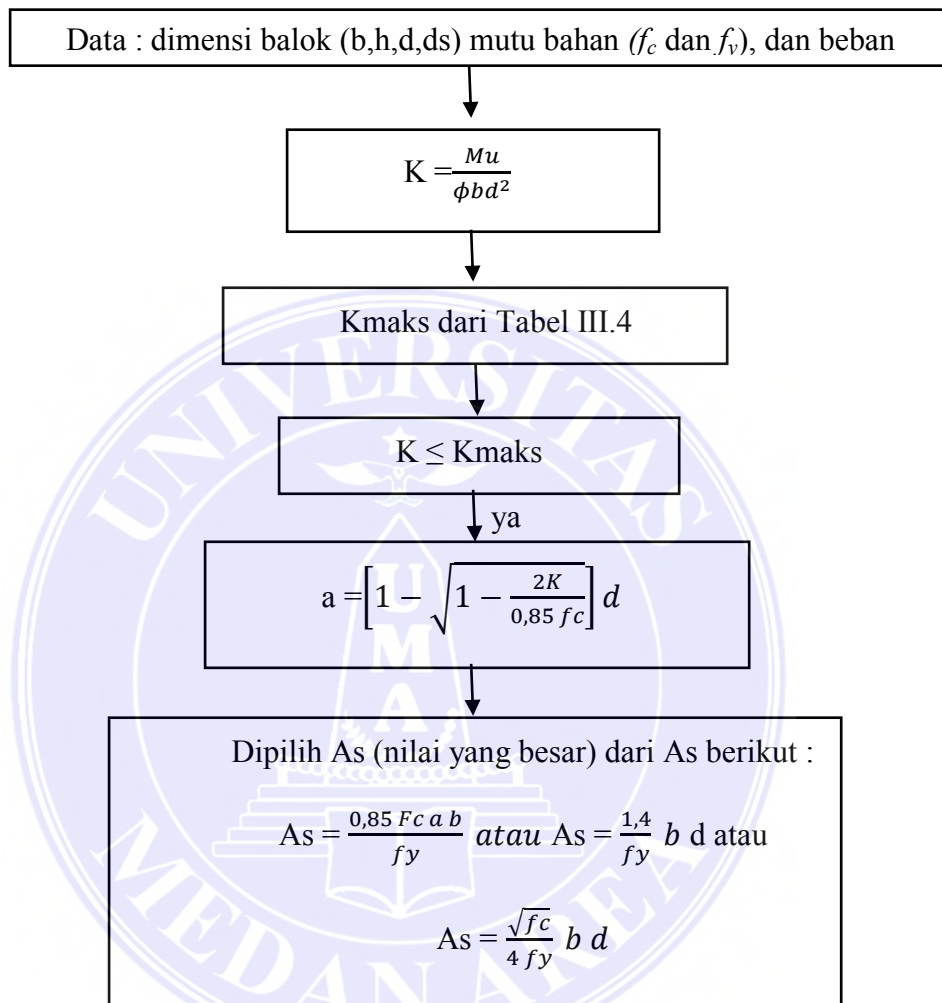
$$A_s = \frac{1,4}{f_y} b d \dots\dots\dots(xxi)$$

$$\text{Atau } A_s = \frac{\sqrt{f_c}}{4 f_y} b d \dots\dots\dots(xxii)$$

dan dipilih dengan nilai As terbesar.

8. Terakhir, hitung jumlah tulangan yang dibutuhkan (n), dengan rumus sebagai berikut:

$$n = \frac{A_s, u}{\frac{1}{4} \pi D^2} \dots\dots\dots(xxiii)$$



Gambar 2.9 Skema hitungan tulangan Longitudinal Balok (Penampang Balok dengan Tulangan Tunggal)

Sumber: Buku Teori dan Desain Pelat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

## 2.10 Kuat Beton Terhadap Gaya Tarik

Nilai kuat tekan dan tarik beton tidak berbanding lurus. Setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar yang dapat dipakai, bahwa nilai kuat tarik bahan beton normal hanya berkisar antara 9%-15% dari kuat tekannya. Kuat tarik bahan

beton yang tepat sulit untuk diukur. Menurut Dipohusodo (1994), nilai pendekatan yang diperoleh dari hasil pengujian berulang kali mencapai kekuatan 0,50 – 0,60 kali ( $f^c$ ) 0,5, sehingga untuk bentuk normal digunakan nilai 0,57 ( $f^c$ ) 0,5.

## 2.11 Kuat Lentur Balok

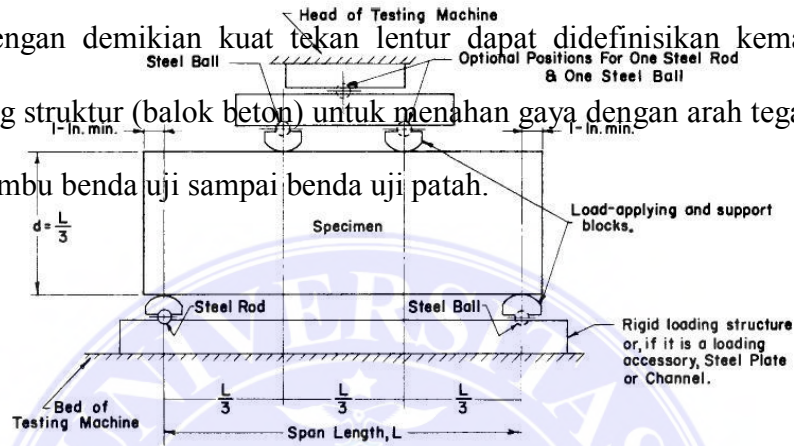
Lentur adalah keadaan gaya kompleks yang berkaitan dengan melenturnya elemen (balok) sebagai akibat adanya beban transversal. Aksi lentur menyebabkan serat pada permukaan elemen memanjang mengalami tarik dan tekan. Tegangan ini bekerja tegak lurus pada permukaan penampang struktur .

Kekuatan elemen (penampang) yang mengalami lentur tergantung pada distribusi material pada penampang, juga jenis materialnya. Sebagai respon (reaksi) atas adanya lentur yang bekerja pada penampang struktur maka penampang akan memberikan gaya perlawanan (aksi) untuk mengimbangi gaya tarik dan tekan yang terjadi pada penampang. (Tri Mulyono, 2003)

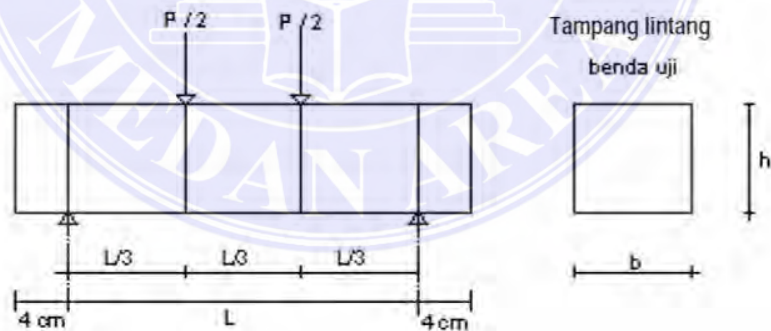
Beban-beban yang bekerja pada struktur, baik yang berupa beban gravitasi (berarah vertikal) maupun beban-beban lain, seperti beban angin (dapat berarah horizontal), atau juga beban karena susut dan beban karena perubahan temperatur, menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur.

Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar. (E. G. Nawy,2009). Apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya (atau bertambahnya) retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila bebannya semakin bertambah, pada akhirnya dapat mengakibatkan keruntuhan elemen struktur. Pada saat beban luar mencapai taraf pembebanan demikian disebut keadaan batas keruntuhan karena lentur.

Karena itu perencana harus mendisain penampang elemen pada balok sedemikian rupa sehingga tidak terjadi retak yang berebihan pada saat beban kerja, dan masih mempunyai keamanan yang cukup dan kekuatan cadangan untuk menahan beban dan tegangan tanpa mengalami keruntuhan.(E. G Nawy, 2009). Dengan demikian kuat tekan lentur dapat didefinisikan kemampuan penampang struktur (balok beton) untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus dengan sumbu benda uji sampai benda uji patah.



Gambar 2.10. Skematik pengujian kuat lentur.(ASTM C78)

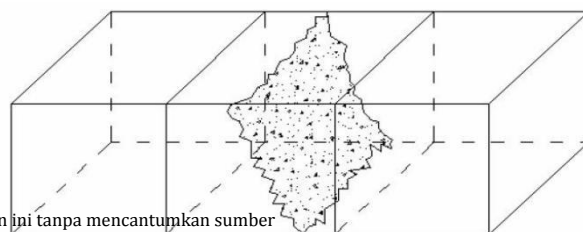


Gambar 2.11. Garis-garis perletakan dan pembebanan (SNI 4431:2011)

Kuat lentur beton,  $f_r$  dihitung dengan ketentuan sebagai berikut:

- Benda uji patah di bagian tengah pada 1/3 jarak titik perletakan pada bagian tarik dari beton, maka beton dihitung dengan rumus :

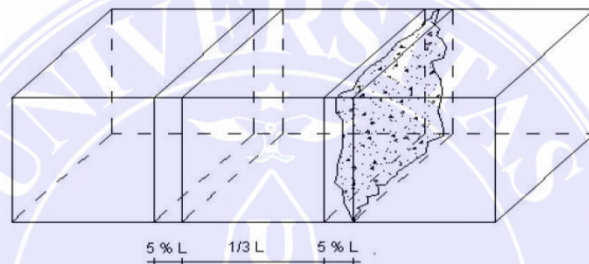
$$f_r = (P \times L) / (h \times h^2) \dots \dots \dots (xxiv)$$



Gambar 2.12. Patah pada pusat 1/3 bentang (L)

- Benda uji patah di luar pusat (di luar daerah 1/3 jarak titik perletakan) dibagian tarik beton, dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5 % dari panjang titik perletakan maka kuat lentur beton dapat dihitung dengan rumus :

$$f_r = (P \times a) / (b \times h^2) \dots \dots \dots (xxv)$$



Gambar 2.13. Patah di luar 1/3 bentang (L) dan garis patah < 5% dari bentang

Dimana :

$f_r$  : Kuat lentur benda uji (MPa)

P : Beban maksimum pada saat pengujian (N)

L : Jarak bentang antara dua garis perletakan (mm)

b : Lebar patah arah horizontal (mm)

h : lebar patah vertikal (mm)

a : jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar terdekat diukur 4 tempat pada sisi tarik benda uji (mm)

- Benda uji yang patahanya diluar 1/3 lebar pusat pada bagian tarik beton dan jarak antara titik pembebanan dan titik patah lebih dari 5 % bentang maka hasil pengujian dinyatakan batal dan diulang kembali dengan benda uji yang baru.

Menurut Spesifikasi Umum Binamarga tahun 2010 revisi 3 Divisi 5 seksi 5.3 (Perkerasan Beton Semen), nilai kuat lentur minimum perkerasan kaku pada umur 28 hari adalah  $F_s = 45 \text{ kg/cm}^2$ . Jika dalam satuan internasional adalah sama dengan  $f_r = 4,4 \text{ MPa}$ . Lebih lanjut di Divisi 5 Seksi 5.3 bagian 11 c) mengenai kekuatan lentur perkerasan beton semen, disyaratkan kekuatan pada umur 7 hari. Kekuatan lentur pada umur 7 hari minimal 80% dari kuat lentur lapangan yang terjadi.

### 2.11.1. Perhitungan Kuat Lentur Balok

Kuat lentur adalah nilai tegangan tarik yang dihasilkan dari momen lentur dibagi dengan momen penahan penampang balok uji. Sedangkan tegangan tarik adalah besar gaya tarik dibagi dengan luas penampang suatu benda. Bahan atau material struktur yang paling baik digunakan untuk menahan gaya tarik adalah baja. Baja merupakan bahan dengan sifat struktur baik, mempunyai kekuatan yang tinggi dan sama kuat pada kekuatan tarik maupun tekan. Baja adalah elemen struktur yang memiliki batasan sempurna yang akan menahan beban jenis tarik aksial, tekan aksial, dan lentur dengan fasilitas yang hampir sama.



Gambar 2.14. Baja Tulangan Polos dan Baja Tulangan Ulir

Perhitungan tentang kekuatan lentur penampang struktur balok beton bertulang menggunakan asumsi dasar sebagai berikut:

- (1) Bentuk penampang tetap berupa bidang datar, baik sebelum ataupun sesudah terjadi lenturan. Di sini berlaku hukum Bernoulli dimana besarnya tegangan terjadi di setiap titik pada penampang balok sebanding dengan jarak titik tinjau terhadap garis netral, dengan anggapan adanya kesatuan antara beton dengan baja tulangan secara monolit dan tidak terjadi *slip*.
- (2) Hubungan tegangan-regangan baja tulangan telah diketahui secara pasti melalui hasil uji tarik baja yang valid. Umumnya perilaku baja tulangan yang diperhitungkan hanya sampai saat tercapainya tegangan leleh, dikarenakan setelah fase leleh baja akan mengalami *strain hardening*, dimana peningkatan tegangan disertai dengan terjadinya deformasi yang sangat besar.
- (3) Perilaku material beton saat menerima tegangan tekan dapat diketahui secara nyata baik dalam hal besaran maupun distribusinya, dapat digambarkan dalam bentuk diagram tegangan-regangan beton dengan mengacu pada hasil penelitian yang telah diakui secara luas.
- (4) Beton hanya menahan tegangan tekan, sehingga kekuatan beton tidak diperhitungkan untuk menerima tegangan tarik.
- (5) Regangan maksimum pada serat tekan beton terjauh diperhitungkan sama dengan 0,003.
- (6) Bila tegangan pada tulangan nilainya lebih kecil dari kuat leleh  $f_y$  ( $f_s < f_y$ ), harus diambil sebesar  $E_s$  dikalikan dengan regangan baja  $\epsilon_s$  ( $E_s \times$

$\epsilon_s$ ). Apabila regangan lebih besar dari regangan lelehnya ( $\epsilon_s > \epsilon_y$ ), maka tegangan pada tulangan harus diambil sama dengan tegangan lelehnya  $f_y$  ( $f_s = f_y$ ).

(7) Hubungan antara tegangan dengan regangan beton boleh diasumsikan berbentuk persegi, atau disebut distribusi tegangan beton persegi ekuivalen dan didefinisikan sebagai berikut:

(a) Tegangan beton sebesar  $0,85 f_c''$  terdistribusi secara merata pada daerah tekan yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar dengan sumbu netral sejarak  $a = \beta_1 c$  dari serat dengan regangan tekan maksimum.

(b) Jarak dari sumbu netral ke serat dengan regangan tekan maksimum  $c$  diukur dalam arah tegak lurus terhadap sumbu tersebut.

(c) Faktor  $\beta_1$  sebesar 0,85 untuk beton dengan nilai kuat tekan karakteristik  $f_c'' = 30$  MPa. Untuk beton dengan nilai kuat tekan di atas 30 MPa,  $\beta_1$  harus direduksi sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan 7 MPa, tetapi  $\beta_1$  tidak boleh diambil kurang dari 0,65.

### 2.11.2 Momen Kapasitas Balok

Penampang beton bertulang pada penelitian ini dirancang dengan tulangan rangkap akibat lentur, sedemikian sehingga keretakan terjadi di tengah bentang (pada momen maksimum) dan dihindari adanya keretakan akibat geser dekat tumpuan. Apabila beban bertambah terus, maka retak-retak di tengah bentang bertambah dan retak awal yang sudah terjadi

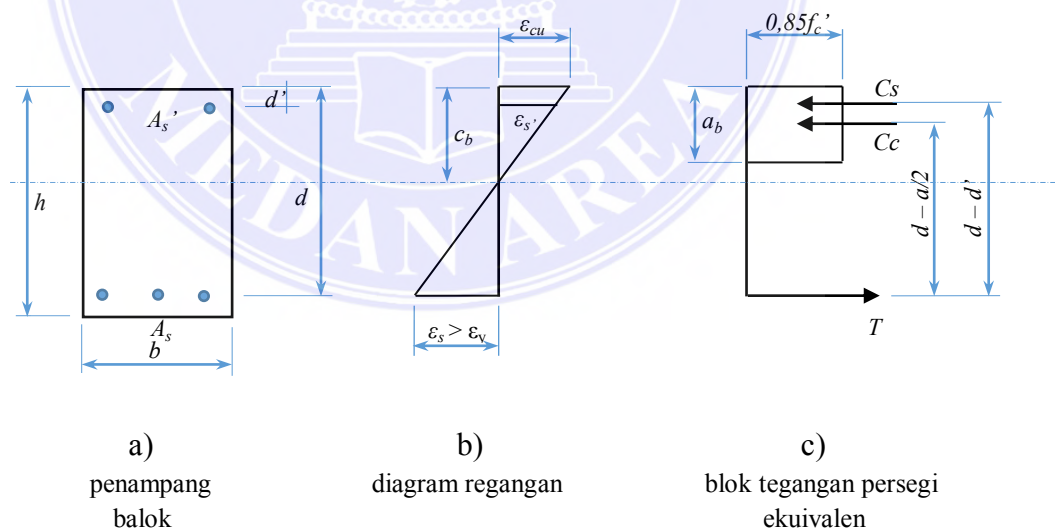


semakin lebar dan semakin panjang menuju sumbu netral penampang. Hal ini bersamaan dengan semakin besarnya lendutan di tengah bentang. Besarnya momen maksimal adalah besarnya momen akibat beban dimana pada balok terjadi keruntuhan di daerah tarik. Besarnya momen maksimal dapat dihitung sebagai berikut :

a). Momen kapasitas balok persegi tulangan baja hasil uji. Pengujian momen maksimal balok persegi dimaksudkan untuk mengetahui besarnya momen yang dapat ditahan oleh balok. Besarnya momen maksimal oleh beban luar pada benda uji dapat diuraikan sebagai berikut :

$$M_{\text{mak}} = 1/4 \cdot P_{\text{runtuh}} \cdot L + 1/8 \cdot q \cdot L^2 \dots\dots\dots(\text{xxvi})$$

b). Momen kapasitas balok beton tulangan baja secara teoritis. Untuk perhitungan kapasitas momen nominal dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini :



Gambar 2.15 Distribusi Tegangan dan Regangan Balok Persegi Bertulangan Rangkap

Komponen pertama adalah momen kopel internal yang dibentuk oleh gaya tarik (T) pada bagian tulangan tarik seluas  $A_{s1} = (A_s - A_s'')$  dan gaya tekan pada

blok diagram tegangan tekan beton ekuivalen ( $C_c$ ) dengan panjang lengan momen ( $d - a/2$ ).

Komponen kedua adalah momen kopel internal yang dibentuk oleh gaya tekan pada bagian tulangan tekan seluas  $A_{s2}$  dan gaya tarik pada baja tulangan tarik (T) seluas  $A_{s2} = A_{s'} = (A_s - A_{s1})$ , dengan panjang lengan momen ( $d - d'$ ).

Kapasitas nominal penampang dapat dihitung sebagai jumlah antara komponen momen kopel pertama dan kedua, sebagaimana dinyatakan dalam rumusan berikut:

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

$$M_{n1} = (A_s - A_{s1}) \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \dots\dots\dots(\text{xxvii})$$

dimana:

$$a = \frac{(A_s - A_{s'}) \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \dots\dots\dots(\text{xxviii})$$

$$M_{n2} = A_{s'} \cdot f_y \cdot (d - d') \dots\dots\dots(\text{xxix})$$

Sehingga kapasitas momen nominal penampang juga dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$M_n = (A_s - A_{s'}) \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_{s'} \cdot f_y \cdot (d - d') \dots\dots\dots(\text{xxx})$$

atau

$$M_n = A_{s1} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_{s2} \cdot f_y \cdot (d - d') \dots\dots\dots(\text{xxxi})$$

Untuk menjamin keamanan struktur ditinjau dari aspek kekuatan maka dipersyaratkan kapasitas momen rencana ( $M_R = \phi M_n$ ) harus lebih besar dari kombinasi terbesar momen luar yang bekerja ( $M_u$ ), jadi:

$$M_u = \phi \cdot M_n \dots \dots \dots (xxxii)$$

Persamaan di atas hanya dapat diperlakukan apabila tulangan tetap ( $A_s''$ ) telah meleleh, jika tegangan leleh belum tercapai maka balok harus dianggap sebagai balok bertulangan tunggal, dan akan lebih tepat jika tegangan actual ( $f_s''$ ) pada tulangan tekan dan menggunakan gaya actual untuk keseimbangan momennya.

Syarat agar tulangan tekan ( $A_s''$ ) meleleh dapat diturunkan dengan bantuan segitiga sebangun pada Gambar 2.15:

$$\epsilon'_s = \frac{c - d'}{d} \cdot 0,003 = \left(1 - \frac{d'}{c}\right) \cdot 0,003$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{(A_s - A'_s)}{\beta_1 \cdot (0,85 \cdot f'_c \cdot b)} = \frac{(\rho - \rho') \cdot f_y \cdot d}{0,85 \cdot \beta_1 f'_c}$$

$$\text{hingga dapat diperol } \epsilon'_s = \left(1 - \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot d'}{(\rho - \rho') \cdot f_y \cdot d}\right) \cdot 0,003 \dots \dots \dots (xxxiii)$$

Apabila baja tulangan tekan leleh maka dicapai suatu kondisi dimana

$$\epsilon' \geq \epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{f_y}{200.000'}$$

$$\text{sehingga: } \left(1 - \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot d'}{f_y \cdot d}\right) \cdot 0,003 \geq \frac{f_y}{200.000}$$

$$-\frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot d'}{f_y \cdot d} \geq \frac{f_y - 600}{600}$$

atau

$$\left(\frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot d'}{f_y \cdot d}\right) \cdot \left(\frac{600}{600 - f_y}\right) \dots \dots \dots (xxxiv)$$

Jika tulangan tekan ( $A_s''$ ) belum leleh maka tegangan aktualnya dapat dihitung sebesar  $f'_s = \epsilon'_s \cdot E_s$ , atau:

$$f'_s = \left(1 - \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot d'}{f_y \cdot d}\right) \cdot 0,003 \times 200.000$$

atau

$$f'_s = 600 \cdot \left(1 - \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot d'}{f_y \cdot d}\right) \text{ MPa} < f_y \dots\dots\dots(\text{xxxv})$$

Nilai  $f'_s$  ini dapat digunakan untuk pedekatan awal terhadap control regangan untuk keadaan tulangan tekan belum leleh. Rasio penulangan dalam kondisi regangan berimbang dapat ditulis:

$$\rho_b = \rho_b + \rho' \cdot \frac{f'_s}{f_y} \dots\dots\dots(\text{xxxvi})$$

dimana:  $\rho_b = \left(\frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y}\right) \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y}\right)$  merupakan rasio penulangan berimbang pada balok tulangan tunggal.

Untuk menjamin perilaku daktail pada balok beton bertulang, rasio penulangan maksimum yang diijinkan untuk balok bertulangan rangkap ditetapkan sebesar:

$$\rho \leq 0,75 \cdot \rho_b + \rho' \cdot \frac{f'_s}{f_y} \dots\dots\dots(\text{xxxvii})$$

Dalam pembahasan yang diuraikan di atas, hilangnya sebagian luasan beton karena ditempati tulangan diabaikan karena tidak memberikan pengaruh yang signifikan dalam perencanaan praktis beton bertulang.

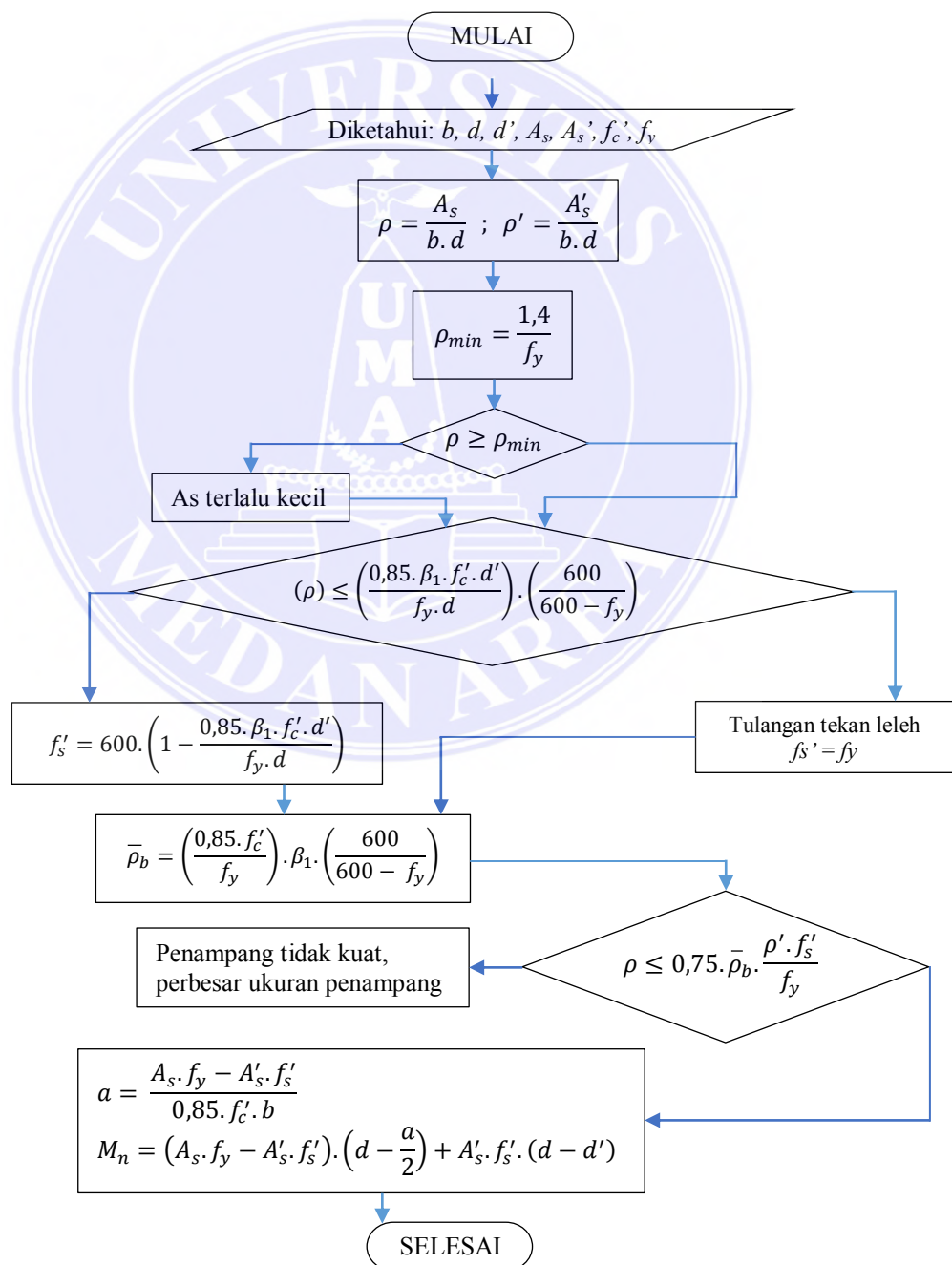
Perlu dicatat apabila tulangan tekan ( $A'_s$ ) belum leleh maka tinggi blok tegangan tekan ekuivalen harus dihitung menggunakan tegangan actual pada tulangan tekan yang diperoleh dari regangan tulangan tekan ( $\epsilon'_s$ ), sehingga:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \dots\dots\dots(\text{xxxviii})$$

dengan demikian kapasitas momen nominal pada persamaan di atas berubah menjadi:

$$M_n = (A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_s) \left( d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \cdot f'_s \cdot (d - d') \dots \dots \dots (xxxix)$$

Untuk mempermudah pemahaman tentang langkah-langkah dalam melakukan analisis kekuatan lentur balok beton bertulangan rangkap sesuai dengan uraian di atas, disajikan bagan alir analisis balok bertulang pada Gambar 2.16.



Gambar2.16. Bagan Alir Analisis Balok Bertulangan



## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Gambaran Umum

Penelitian ini penulis melakukan penelitian dan pengumpulan data dengan cara menguji langsung di laboratorium. Pada pengumpulan data menggunakan data primer, data primer didapat langsung di lapangan. Data tersebut mencakup besar beban lentur, dan juga data sekunder yang sifatnya mendukung keperluan data primer seperti buku-buku dan jurnal. Data tersebut mencakup besar kuat lentur dan perbedaan kuat lentur pada balok beton bertulang menggunakan sampel-sampel yang akan diuji.

#### 3.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang dipergunakan antara lain:

1. Campuran beton yang diambil dari ready mix Abadi Beton.
2. Tulangan baja berdiameter 10 mm dan 8 mm.
3. Kawat untuk mengikat tulangan.
4. Bekisting untuk cetakan balok beton bertulang digunakan triplek polywood 2 faced.

#### 3.3 Peralatan Penelitian

1. Alat pembuatan sampel uji kuat lentur balok beton bertulang.
2. Alat pengujian kuat lentur balok beton bertulang.



Gambar 3.1 Alat uji kuat lentur

### 3.4 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang saya lakukan berada di Laboratorium Beton Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara

### 3.5 Persiapan Pengujian

#### 3.5.1 Pembuatan Sampel Balok Beton Bertulang

##### 1. Pembuatan Bekisting

Bekisting adalah cetakan sementara yang digunakan untuk menahan beton selama beton dituang dan dibentuk sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Bekisting yang digunakan adalah triplek plywood 2 faced dengan ukuran dimensi 15 cm x 15 cm dan panjang 50 cm.

##### 2. Pemotongan dan Pembengkokan Tulangan

Pemotongan tulangan sesuai dengan bentang yang dibutuhkan yaitu 50 cm dengan D10 mm untuk tulangan utama, dan tulangan sengkang  $\phi 8$  mm dengan jarak 49 mm. Pemotongan dilakukan dengan mesin bar cutter.



Pembengkokan dilakukan pada meja pembengkok menggunakan kunci besi dari ukuran kecil sampai besar. Pembuatan kait pada tulangan dapat berupa kait penuh, kait lurus dan kait miring. Pembengkokan kait tulangan sengkang sesuai dengan syarat yaitu 4db, sehingga dibengkokan sepanjang 5 cm pada kedua ujung tulangan sengkang sebagai kait tulangan.

### 3. Perakitan Tulangan

Perakitan dilakukan dengan cara langsung merakit tulangan yang sudah dibengkok dan dipotong.

### 4. Pemasangan Tulangan

Sebelum pemasangan tulangan, perlu diperhatikan beberapa hal seperti; tulangan harus bebas dari kotoran, lemak, kulit gilingan baja, karat lepas, serta bahan-bahan lain yang dapat mengurangi daya lekat baja dengan beton, pemasangan tulangan harus dipasang sedemikian rupa sehingga sebelum dan selama pengecoran beton tidak berubah dari tempatnya, dan memperhatikan tebal selimut beton dan penempatan / elevasi tulangannya. Oleh karena itu tulangan harus dipasang dengan tahu beton.

### 5. Perletakan Tahu Beton

Untuk menahan agar tulangan ditempatkan pada posisi yang dikehendaki, maka dipakai tahu beton. Tujuan digunakannya tahu beton adalah untuk membuat sela atau jarak antara permukaan bekisting dengan tulangan, sehingga pada waktu pengecoran nanti bisa terbentuk

selimut beton sesuai yang diinginkan. Tahu beton yang digunakan setebal 2 cm sesuai tebal selimut beton.

#### 6. Pengecoran Balok Beton

Setelah semua telah selesai dipasang, maka dilakukan pengecoran balok dengan cara menuangkan campuran beton kedalam cetakan beton yang sudah dipasang. Campuran beton dimasukkan sedikit demi sedikit yaitu masukkan  $\frac{1}{3}$  campuran beton lalu dirojok sebanyak 25 kali, dilakukan sampai selesai dan kemudian diratakan. Guna rojokan tersebut adalah untuk mengurangi rongga-rongga yang ada didalam beton.

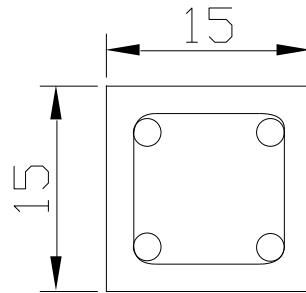
#### 7. Pembongkaran Bekisting Beton

Proses pembongkaran bekisting dilakukan setelah beton dianggap mengeras. Pembongkaran bekisting dilakukan setelah 8 jam dari pengecoran terakhir. Jika pembongkaran dilakukan sebelum waktu maka akan terjadi kerusakan/cacat pada beton tersebut.

### 3.6 Pelaksanaan Penelitian

#### 3.6.1 Sampel Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium dengan cara membuat sampel pengujian. Adapun sampel pengujian tersebut dibuat sebagai berikut:



Gambar 3.2 Sampel Penelitian

1. Sampel berupa balok beton bertulang dengan tulangan utama berupa tulangan polos dengan diameter 10 mm dan tulangan sengkang konvensional dengan ukuran lebar 15 cm, tinggi 15 cm dan bentang balok 50 cm. Banyaknya tulangan utama yaitu 4 buah. Jumlah sampel 3 buah.
2. Sampel berupa balok beton bertulang dengan dengan tulangan utama berupa tulangan ulir dengan diameter 10 mm dan tulangan sengkang konvensional dengan ukuran lebar 15 cm, tinggi 15 cm dan bentang balok 50 cm. Banyaknya tulangan utama yaitu 4 buah. Jumlah sampel 3 buah.

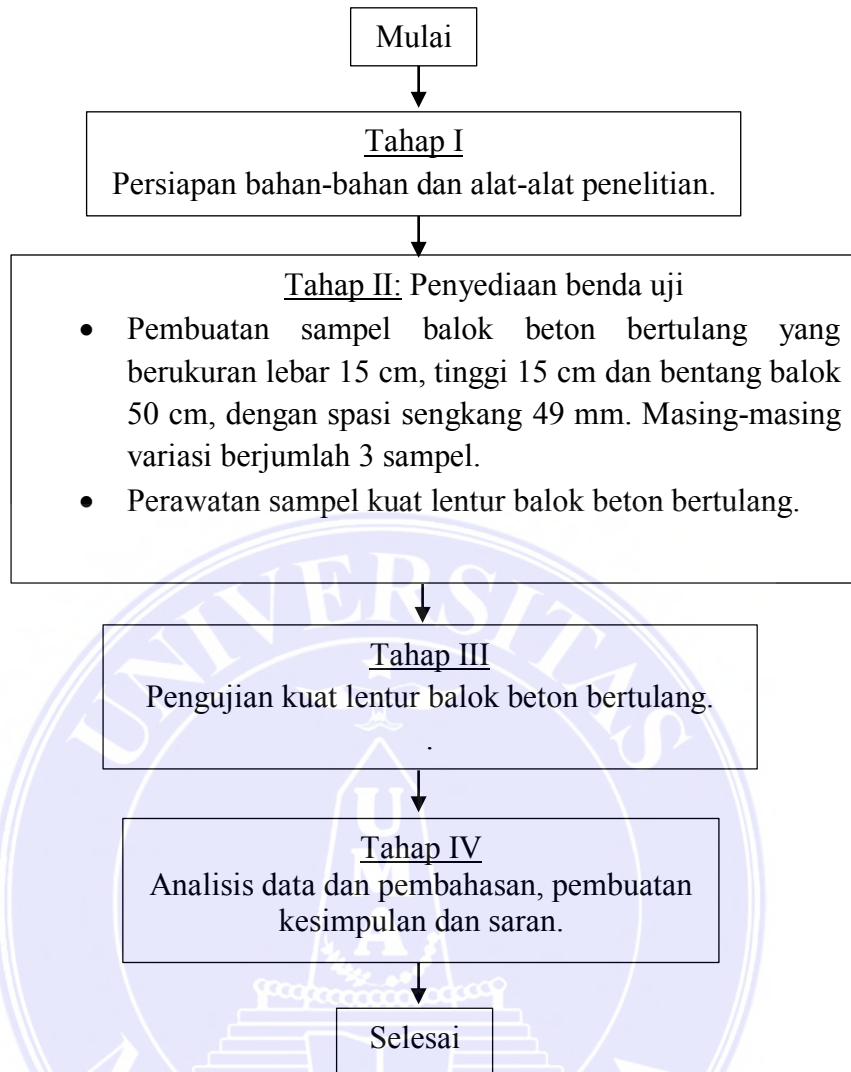
### 3.7 Tahapan Penelitian

1. Pengujian material baja tulangan: Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tegangan leleh ( $f_y$ )
2. Perakitan tulangan: Metode sambungan untuk tulangan dilakukan dengan jarak sesuai dengan perhitungan yang telah ditentukan.
3. Pembuatan benda uji: Benda uji yang digunakan berbentuk balok persegi dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 50 cm. Sebelum pengecoran

dilakukan persiapan bekisting. Pengecoran benda uji menggunakan ready mix dengan kuat tekan  $f'c$  sebesar 32,17 MPa atau K350.

4. Pengujian kuat geser balok beton bertulang

- a. Pengujian dilakukan diatas loading frame yang terbuat dari profil baja yang didesain dengan perletakan sederhana (sendi-rol) untuk menguji kekuatan geser balok dengan panjang bentang 50 cm dan penampang berbentuk persegi empat berdimensi 15 cm x 15 cm.
- b. Pengujian kuat geser pada balok beton bertulang dilaksanakan pada sampel yang telah berumur diatas 28 hari.
- c. Pengujian balok beton bertulang ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan balok dalam memikul beban. Pembacaan load cell untuk pengujian balok dilaksanakan setiap pembebanan 1 kN.
- d. Pengolahan data membahas hubungan antara beban dan kuat geser.



Gambar 3.3 Skema penelitian

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka beberapa kesimpulan yang dapat diperoleh dinyatakan sebagai berikut:

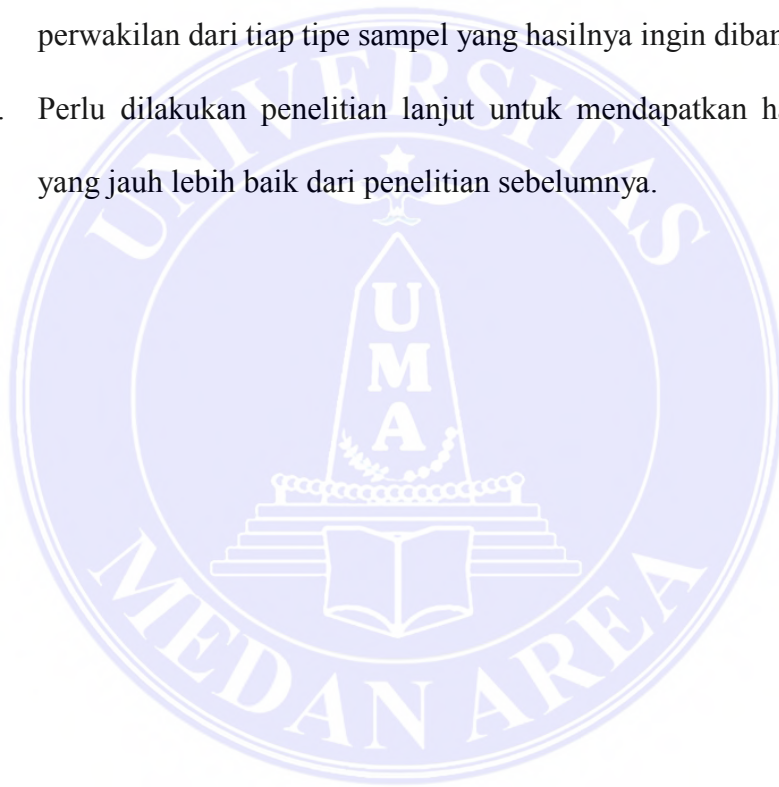
1. Beban lentur maksimal yang terjadi yaitu rata-rata sebesar 38,07 kN untuk tulangan polos dan 59,67 kN untuk tulangan ulir.
2. Kuat lentur maksimal rata-rata sebesar 5,06 MPa untuk tulangan polos dan 7,91 MPa untuk tulangan ulir.
3. Terdapat perbedaan kuat lentur antara tulangan polos dan tulangan ulir, yaitu selisih kuat lentur maksimal rata-rata adalah sebesar 21,9%. Perbedaan nilai juga terjadi pada beban lentur maksimalnya, yaitu sebesar 21,1%.
4. Dalam penggunaannya, tulangan ulir lebih disarankan pada konstruksi besar karena dapat menahan beban yang lebih besar dibandingkan tulangan polos. Sedangkan tulangan polos disarankan pada konstruksi sederhana agar lebih ekonomis.

#### 5.2 Saran

1. Penelitian yang telah dilakukan ini terbatas dengan alat pengujian lentur balok dengan dimensi maksimal penampang balok beton sebesar 15 cm dan kapasitas alat menahan beban sebesar maksimal 10 ton. Dengan

kondisi semacam ini maka dapat dilakukan penelitian serupa untuk balok beton dengan dimensi penampang balok yang lebih besar dan dengan alat pengujian lentur yang mempunyai kapasitas menahan beban maksimal yang lebih besar lagi.

2. Untuk mendapatkan hasil penelitian yang jauh lebih baik, sampel yang digunakan perlu lebih banyak lagi agar didapatkan data yang lebih bervariasi. Selain itu pemilihan benda uji diupayakan merupakan perwakilan dari tiap tipe sampel yang hasilnya ingin dibandingkan.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjut untuk mendapatkan hasil penelitian yang jauh lebih baik dari penelitian sebelumnya.



## DAFTAR PUSTAKA

- Andrean, S., Sumajouw, M. D., & Windah, R. S. (2015). *(Jurnal) Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Variasi Ratio Tulangan Tarik*, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Asni Tandilino, 2018. *(Jurnal) Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Sistem Rangka dengan Variasi Jarak Spasi*, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar
- Asroni, A., 2017. *Teori dan Desain Plat Balok Beton Bertulang*, Muhammadiyah University Press, Surakarta
- Departemen Pekerjaan Umum, 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*, Panitia Teknik Standardisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan, Bandung.
- Irawan, N. (2014). *Tinjauan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Baja Dengan Penambahan Kawat Yang Dipasang Diagonal Di Tengah Tulangan Sengkang* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Pane, F. P., Tanudjaja, H., & Windah, R. S. (2015). Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton Dengan Variasi Kuat Tekan Beton. *Jurnal Sipil Statik*, 3(5).
- Pratikno, 2009. *Konstruksi Beton I*, Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Jakarta, Jakarta.
- Suhendra, ST, MT, 2015. *Prosedur dan Teknik Pembuatan dan Pemasangan Pembesian/ Penulangan Beton, Jambi*  
[https://www.academia.edu/29302575/Prosedur\\_dan\\_Teknik\\_Pembuatan\\_dan\\_Pemasangan\\_Pembesian\\_Penulangan\\_Beton](https://www.academia.edu/29302575/Prosedur_dan_Teknik_Pembuatan_dan_Pemasangan_Pembesian_Penulangan_Beton)
- Sutarman, Encu, 2013. *Konsep dan Aplikasi Pengantar Teknik Sipil*, Andi Offset, Yogyakarta
- Yunita Ariani, 2019. *(Jurnal) Perbandingan Kuat Geser Antara Sengkang Konvensional Dan Sengkang "U" Pada Balok Beton Bertulang*, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Medan.

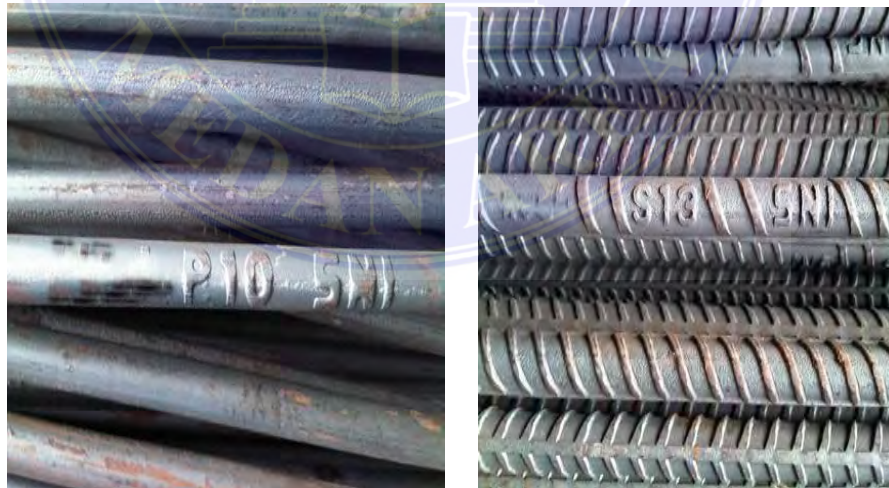


# LAMPIRAN I

## FOTO DOKUMENTASI



Gambar 1. Lokasi Laboratorium Beton Teknik Sipil USU



(a) Tulangan polos

(b) Tulangan ulir

Gambar 2. Tulangan



Gambar 3. Kawat pengikat



Gambar 4. Bekisting



Gambar 5. Tulangan setelah dipotong



Gambar 6. Perakitan tulangan



Gambar 7. Pemasangan tulangan



Gambar 8. Penuangan campuran beton



Gambar 9. Perojokan campuran beton



Gambar 10. Perataan campuran beton



(a) Sebelum dibongkar



(b) Setelah dibongkar

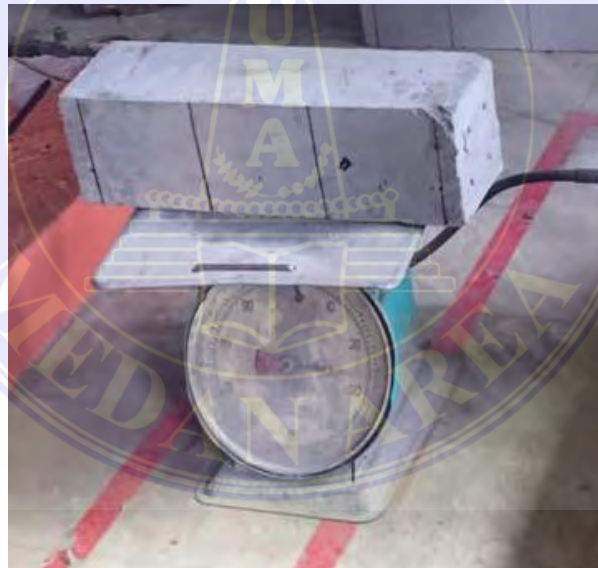
Gambar 11. Pembongkaran beton



Gambar 12. Alat uji kuat lentur



Gambar 13. Pengukuran dan penandaan



Gambar 14. Penimbangan sampel



Gambar 15. Pengujian Kuat Lentur Balok



Gambar 16. Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok





Gambar 17. Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Pada Tulangan Ulir



Gambar 18. Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Pada Tulangan Polos