

**PERBANDINGAN KUAT GESER ANTARA  
SENGKANG KONVENSIONAL DAN SENGKANG “U”  
PADA BALOK BETON BERTULANG**

**SKRIPSI**

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

**YUNITA ARIANI NASUTION**

**15 811 0102**



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

## LEMBAR PENGESAHAN

### PERBANDINGAN KUAT GESER ANTARA SENGGANG KONVENSIIONAL DAN SENGGANG “U” PADA BALOK BETON BERTULANG

#### SKRIPSI

Disusun oleh :

**YUNITA ARIANI NASUTION**

**15 811 0102**

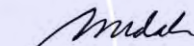
Disetujui :

Dosen Pembimbing I,



(Ir H Irwan, MT)

Dosen Pembimbing II,



(Ir. Nurmaidah, MT)

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik,



(Dr. Faisal Amri Tanjung, S.ST, MT)

Ketua Prodi Teknik Sipil,



(Ir. Kamaluddin Subis, MT)

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya. Adapun bagian – bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah ditulis sumber nya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lain nya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 22 April 2019



Yunita Ariani Nasution  
NPM 15 811 0102

## ABSTRAK

Beton bertulang sebagai elemen balok harus diberi penulangan yang berupa penulangan lentur dan penulangan geser. Penulangan geser digunakan untuk menahan pembebanan geser yang terjadi pada balok dan mempunyai konsep perhitungan bahwa bagian tulangan sengkang yang berfungsi menahan beban geser adalah bagian pada arah vertikal, sedangkan pada arah horisontal tidak diperhitungkan menahan beban gaya yang terjadi pada balok. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji tentang kekuatan sengkang “U” dan membandingkan dengan kekuatan sengkang konvensional yang telah lazim digunakan. Penelitian ini bertujuan mengetahui beban geser maksimal, kuat geser maksimal, dan besar perbedaannya antara sengkang konvensional dan sengkang “U” 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 4 buah, tiap variasi dibuat 2 sampel. Variasi yang digunakan spasi sengkang 45 mm, ukuran balok lebar 15 cm dan tinggi 15 cm, dengan bentang balok 50 cm. Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa pada beban geser maksimal sebesar 62,6 kN dan kuat geser maksimal sebesar 17,46 kN untuk sengkang konvensional, beban geser maksimal sebesar 56,75 kN dan kuat geser maksimal sebesar 14,53 kN untuk sengkang “U” dan selisih kekuatan geser antara kedua jenis sengkang tersebut sebesar 16,78% dan terjadi pada beban geser sebesar 9,34 %. Dalam penggunaannya, pada sengkang “U” dapat meminimalisir nilai ekonomis, namun tidak terlampaui jauh dibanding dengan sengkang konvensional dan selisih kuat geser yang terjadi juga sedikit lebih besar.

**Kata kunci:** kuat geser, sengkang “U”, sengkang konvensional, balok beton bertulang.

## ABSTRACT

*Reinforced concrete as a beam element must be given reinforcement in the form of bending reinforcement and shear reinforcement. Shear reinforcement is used to resist the sliding load that occurs on the beam and has a calculation concept that the shear reinforcement part that serves to hold the shear load is the part in the vertical direction, whereas in the horizontal direction it is not calculated to hold the force load on the beam. This research was conducted to examine the strength of shear reinforcement "U" and compare it with the conventional shear reinforcement strength that is commonly used. This study aims to determine the maximum shear load, maximum shear strength, and the magnitude of the difference between conventional shear reinforcement and "U" shear reinforcement on simple reinforced concrete beams. The research location is at the Concrete Laboratory at the Civil Engineering Study Program, University of North Sumatra. The total sample size of the test specimens was 4, each sample made 2 samples. Variations used is 45 mm sliding spaces, the beam size is 15 cm wide and 15 cm high, with a beam span of 50 cm. Based on the results of the analysis it is known that the maximum load of 62,6 kN and maximum shear strength of 17,46 kN for conventional shear reinforcement, the maximum load of 56,75 kN and maximum shear strength of 14,53 kN for shear reinforcement "U" and the difference in shear strength between the two types of shear reinforcement is 16,78% and happen in load strength is 9,34%. In its use, the "U" shear reinforcement can minimize economic value, but not too far compared to conventional shear reinforcement and the shear strength difference that occurs is also slightly larger.*

**Keywords:** *shear strength, "U" shear reinforcement, conventional shear reinforcement, reinforced concrete beam.*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'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 Geser Antara Sengkang Kovenisional dan Sengkang “U” Pada Balok Beton Bertulang Sederhana” 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. Bapak Ir. H Irwan, MT, Sebagai Dosen Pembimbing I
5. Ibu Ir. Nurmaidah, MT, Sebagai Dosen Pembimbing II.

6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Staff Pegawai di Fakultas Teknik Sipil Universitas Medan Area.
7. Ucapan terima kasih saya yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua saya, Ahmad Dicky Nasution dan Wisna Indriani Siregar yang telah banyak memberikan kasih sayang dan dukungan moril maupun nateri serta Do'a yang tiada henti untuk penulis.
8. Serta teman-teman seperjuangan stambuk 2015 Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Medan Area, khususnya Rainbow Toha Nugroho serta semua pihak 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, April 2019

Penulis

Yunita Ariani Nasution  
15.811.0102

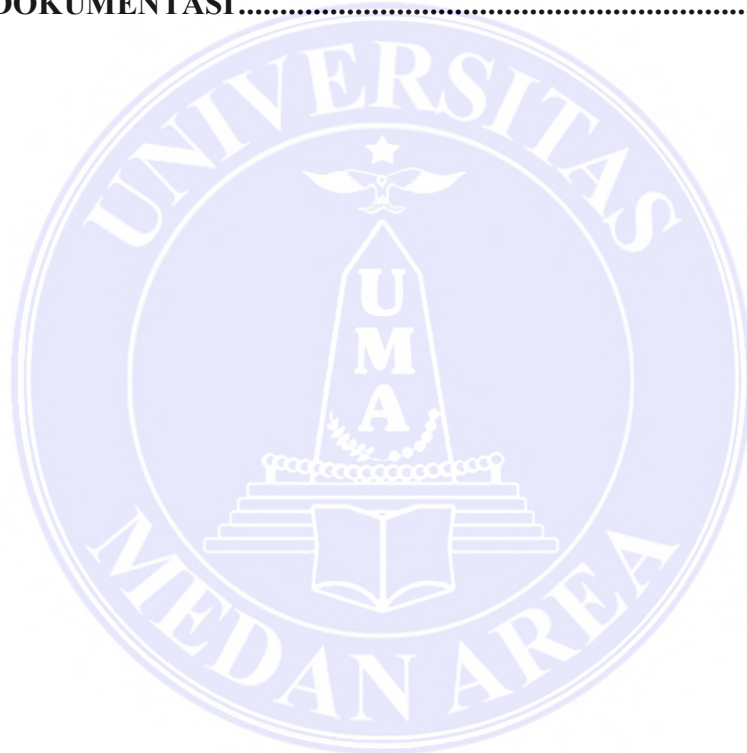
## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<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 .....	8
2.2.3 Retak pada balok .....	8
2.3 Pemasangan Tulangan.....	10
2.3.1 Pemasangan tulangan longitudinal .....	10
2.3.2 Pemasangan Tulangan Geser .....	11
2.3.3 Jarak tulangan pada balok .....	11
2.3.4. Jumlah tulangan maksimum dalam 1 baris .....	13
2.4 Angkur (kait) Tulangan.....	15
2.5 Faktor Momen Pikul Maksimum .....	16
2.6 Tebal selimut beton.....	17



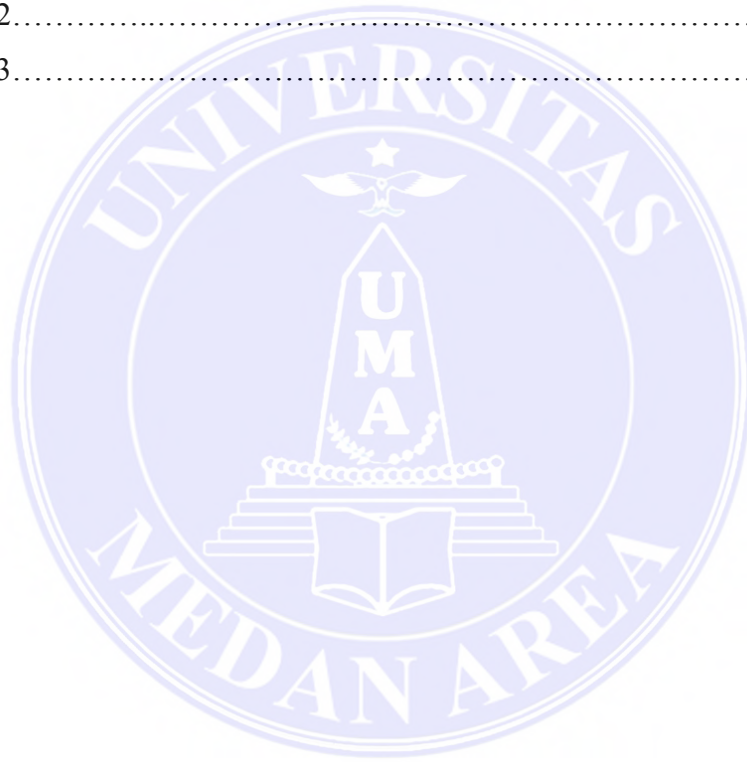
2.7 Kombinasi Beban.....	18
2.8 Perhitungan Balok Beton Bertulang .....	19
2.9 Faktor Keamanan.....	23
2.9.1 Faktor Beban .....	24
2.9.2 Faktor Reduksi Kekuatan $\phi$ .....	25
2.10 Kekuatan Baja Tulangan .....	26
2.11 Hubungan Baja dan Beton pada Beton Bertulang .....	27
2.12 Kuat Beton Terhadap Gaya Tarik.....	28
2.13 Tulangan Geser Balok.....	29
2.13.1 Retakan Pada Balok.....	29
2.13.2 Retak balok akibat gaya geser .....	30
2.13.3 Perencanaan tulangan geser .....	31
2.13.4 Pertimbangan dalam perhitungan tulangan geser .....	33
2.13.5 Skema Hitungan Sengkang Balok .....	35
2.14 Kuat Geser Balok.....	37
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>42</b>
3.1 Gambaran Umum.....	42
3.2 Bahan Penelitian .....	42
3.3 Peralatan Penelitian.....	42
3.4 Lokasi Penelitian.....	43
3.5 Persiapan Pengujian .....	43
3.5.1 Pembuatan Sampel Balok Beton Bertulang .....	43
3.6 Pelaksanaan Penelitian .....	46
3.6.1 Sampel Penelitian .....	46
3.7 Tahapan Penelitian.....	46
<b>BAB IV PEMBAHASAN DAN HASIL.....</b>	<b>50</b>
4.1 Analisa Perhitungan Tulangan.....	50
4.1.1 Penyelesaian Analisa Perhitungan.....	50
4.2 Pengujian Kuat Geser Balok .....	53
4.2.1 Hasil Pengujian.....	53

4.3 Analisa Perhitungan Kuat Geser .....	54
4.3.1 Penyelesaian Analisa Perhitungan Kuat Geser .....	54
4.4 Pembahasan .....	59
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>64</b>
5.1 Kesimpulan .....	64
5.2 Saran .....	64
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>66</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>67</b>
<b>FOTO DOKUMENTASI .....</b>	<b>67</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.....	18
Tabel 2.2.....	19
Tabel 2.3.....	22
Tabel 2.4.....	29
Tabel 2.5.....	30
Tabel 2.6.....	30
Tabel 4.1.....	56
Tabel 4.2.....	60
Tabel 4.3.....	60



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.....	9
Gambar 2.2.....	10
Gambar 2.3.....	13
Gambar 2.4.....	13
Gambar 2.5.....	14
Gambar 2.6.....	15
Gambar 2.7.....	17
Gambar 2.8.....	25
Gambar 2.9.....	31
Gambar 2.10.....	32
Gambar 2.11.....	33
Gambar 2.12.....	38
Gambar 2.13.....	39
Gambar 2.14.....	41
Gambar 2.15.....	41
Gambar 2.16.....	43
Gambar 3.1.....	45
Gambar 3.2.....	48
Gambar 3.3.....	50
Gambar 3.4.....	50
Gambar 3.5.....	51
Gambar 4.1.....	52
Gambar 4.2.....	55
Gambar 4.3.....	56
Gambar 4.4.....	60
Gambar 4.5.....	61
Gambar 4.6.....	62
Gambar 4.7.....	63
Gambar 4.8.....	63

# 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 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

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. Ada beberapa macam tulangan sengkang pada balok, yaitu sengkang vertikal, sengkang spiral, dan sengkang miring. Ketiga macam tulangan ini sudah lazim diterapkan dan sangat dikenal, yang dikenal sebagai tulangan sengkang konvensional (Wahyudi, 1997).

Tulangan tipe ini mempunyai konsep perhitungan bahwa bagian tulangan sengkang yang berfungsi menahan beban geser adalah bagian pada arah vertikal (tegak lurus terhadap sumbu batang balok), sedangkan pada arah horisontal (di bagian atas dan bawah) tidak diperhitungkan menahan beban gaya yang terjadi pada balok. Beban geser balok menyebabkan terjadinya keretakan geser, yang pada umumnya dekat dengan tumpuan balok beban gesernya besar. Kondisi ini menjalar ke arah vertical horisontal menuju tengah bentang balok.

## **1.2 Maksud dan Tujuan**

Maksud penelitian ini adalah untuk memberikan analisis tentang kuat geser sengkang konvensional dengan sengkang “U” pada balok beton sederhana sedangkan tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat geser maksimum dan besar beban geser yang dapat di tahan oleh sengkang konvensional dengan sengkang “U” balok beton bertulang serta untuk mengetahui besar perbedaan kuat geser sengkang konvensional dengan sengkang “U” balok beton bertulang.

## **1.3 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang menjadi topik utama dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Seberapa besar beban geser dan kuat geser maksimum yang dapat ditahan oleh sengkang konvensional dengan sengkang “U” pada balok beton bertulang.

2. Seberapa besar perbedaan kuat geser pada sengkang konvensional dengan sengkang “U” 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 geser maksimum yang dapat ditahan oleh sengkang konvensional dan sengkang “U” dan juga seberapa besar perbedaan kuat geser nya pada balok beton bertulang.

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

Penelitian ini dilakukan 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 geser, dan juga data sekunder yang sifatnya mendukung keperluan data primer seperti buku-buku dan jurnal. Data tersebut mencakup besar kuat geser dan perbedaan kuat geser pada balok beton sederhana 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**

Beton bertulang merupakan material komposit yang terdiri dari beton dan baja tulangan yang ditanam didalam beton. 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**

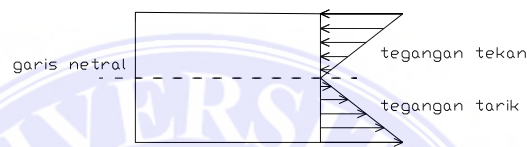
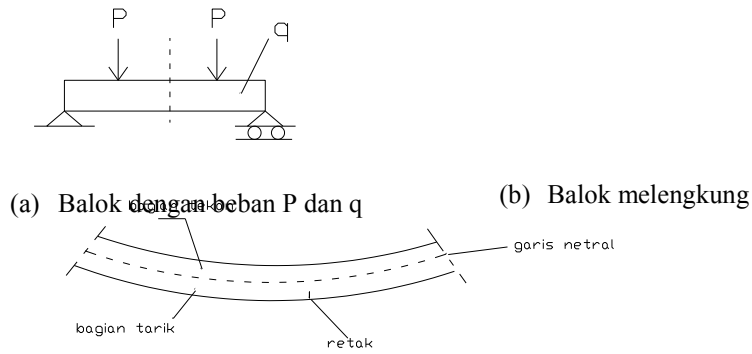
Balok merupakan bagian struktur yang digunakan sebagai dudukan lantai dan pengikat kolom lantai atas. Fungsinya adalah sebagai rangka penguat horizontal bangunan akan beban-beban.

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).



(c) Diagram tegangan beton

Gambar 2.1 Balok beton tanpa tulangan

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

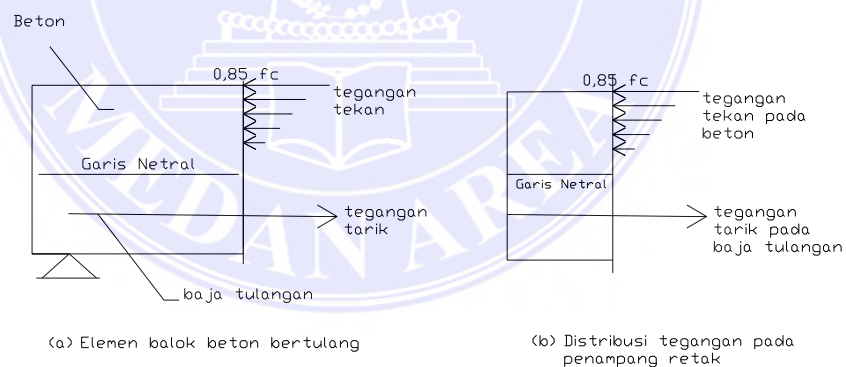
Pada balok yang melengkung ke bawah akibat beban luar ini pada dasarnya ditahan oleh kopel gaya-gaya dalam yang berupa tegangan tekan dan tarik. Jadi pada serat-serat balok bagian tepi atas akan menahan tegangan tekan, dan semakin ke bawah tegangan tekan tersebut akan semakin kecil. Sebaliknya, serat-serat 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.

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 2.1.



Gambar 2.2 Balok Beton Bertulang

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

### 2.2.3 Retak pada balok

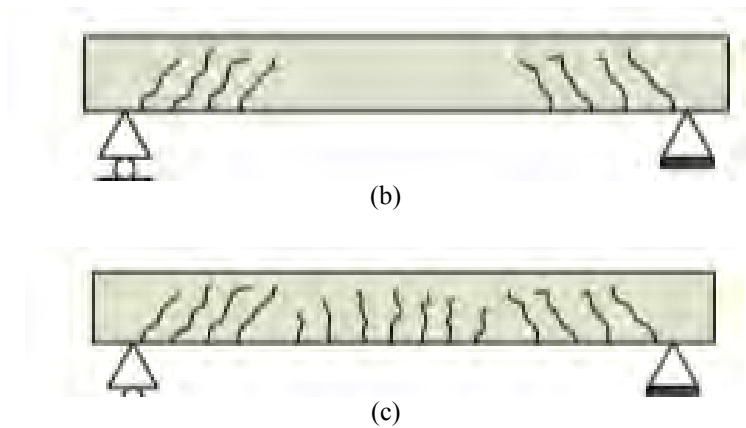
Retak terjadi pada umumnya menunjukkan bahwa lebar celah retak sebanding dengan besarnya tegangan yang terjadi pada batang tulangan baja tarik dan beton pada ketebalan tertentu yang menyelimuti batang baja

tersebut. Meskipun retak tidak dapat dicegah, namun ukurannya dapat dibatasi dengan cara menyebar atau mendistribusikan tulangan. Pada dasarnya ada tiga jenis keretakan pada balok (Gilbert, 1990):

1. Retak lentur (flexural crack), terjadi akibat kegagalan balok dalam menahan beban lentur, sehingga biasanya terjadi pada daerah lapangan (bentang tengah) balok, karena pada daerah ini timbul momen lentur paling besar. Arah retak terjadi hampir tegak lurus pada sumbu balok (lihat Gambar 2.4.(a)).
2. Retak geser pada bagian balok (web shear crack), terjadi akibat kegagalan balok dalam menahan beban geser, sehingga biasanya terjadi pada daerah ujung (dekat tumpuan) balok, karena pada daerah ini timbul gaya geser/gaya lintang paling besar. Retak yang terjadi yaitu arah keretakan miring, membentuk sudut sekitar  $45^\circ$  (lihat Gambar 2.4.(b)).
3. Retak geser-lentur (flexural shear crack), terjadi pada bagian balok yang sebelumnya telah terjadi keretakan lentur. Retak geser lentur merupakan perambatan retak miring dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya (lihat Gambar 2.4 (c)).



(a)



Gambar 2.3 Retak pada balok  
 Sumber : Jurnal Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Sistem Rangka dengan Variasi Jarak Spasi 2018

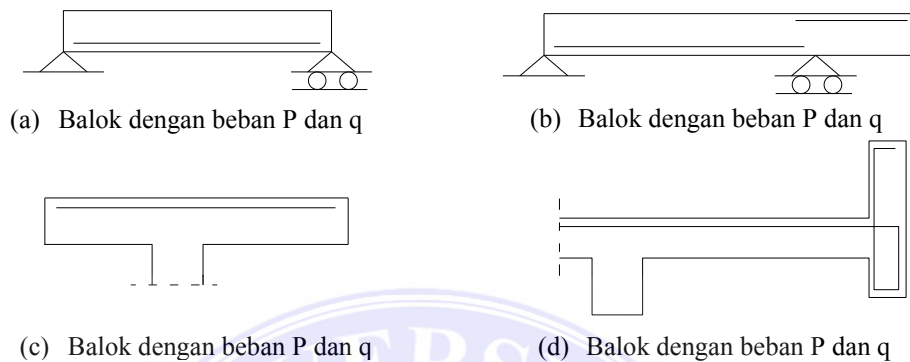
Beton hanya mampu memikul regangan tarik yang relatif rendah sebelum retak, setelah retak beton mengalami perpanjangan (elongation) dengan melebarnya retakan dan penambahan retakan yang baru.

## 2.3 Pemasangan Tulangan

### 2.3.1 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 2.4).



Gambar 2.4 Contoh pemasangan tulangan longitudinal pada balok dan plat  
 Sumber: Buku Teori dan Desain Plat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

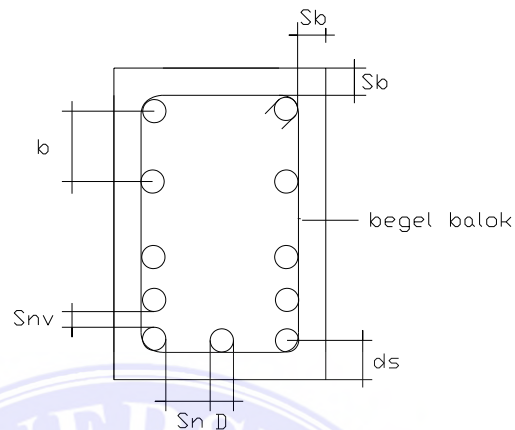
### 2.3.2 Pemasangan Tulangan Geser

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 geser yang dapat berupa 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.

### 2.3.3 Jarak tulangan pada balok

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



Gambar 2.5 Aturan pemasangan tulangan balok

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

Keterangan Gambar 2.5:

$S_b$  = 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  $S_{bm} = 40$  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  $d = h - d_s$ .

$S_{nv}$  = 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  $4/3 \phi_{agregat}$  maks, untuk memudahkan pengecoran (agar kerikil dapat memasuki celah tulangan).

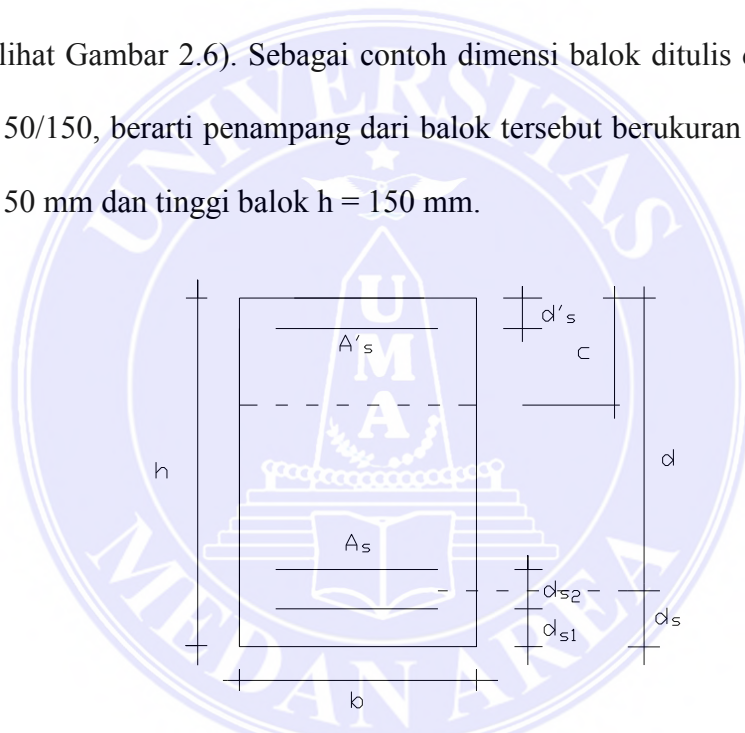


$D$  = diameter tulangan longitudinal, mm.

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

### 2.3.4 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 2.6 Penampang dan notasi balok  
Sumber: Buku Teori dan Desain Plat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

Keterangan Gambar 2.6:

$A_s$  = 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 dipasang 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:

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

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  $\frac{4}{3} \phi_{\text{agregat maks}}$ , untuk memudahkan pengecoran (agar kerikil dapat memasuki celah tulangan).

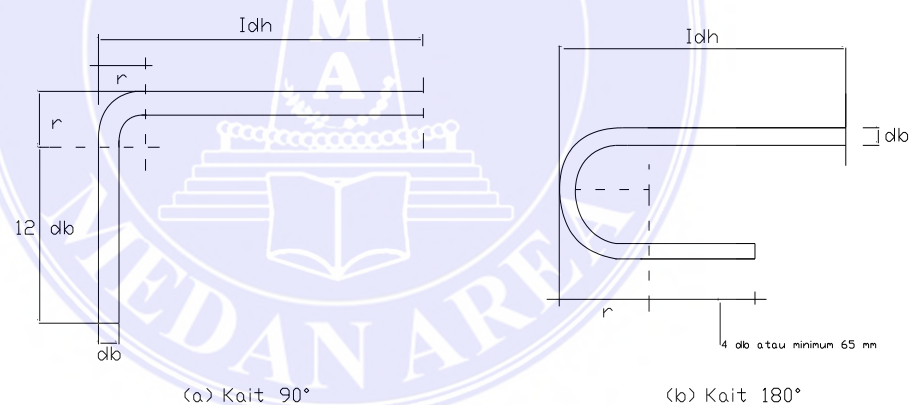
$D$  = diameter tulangan longitudinal, mm.

$b$  = lebar penampang balok, mm

$d_{s1}$  = jarak antara titik berat tulangan tarik baris pertama dan tepi serat beton tarik, mm

## 2.4 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 2.7 Kait tulangan Standar

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

Pada Gambar 2.7, 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,  $r \geq 6db$

## 2.5 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 2.1

Tabel 2.1. 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 2.1:

Jika mutu beton ( $f'_c$ ) dan atau mutu baja tulangan ( $f_y$ ) tidak sesuai dengan yang tercantum pada tabel 2.2 diatas, maka faktor momen pikul maksimum ditentukan berdasarkan persamaan 2.1 yaitu:

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

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

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

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

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.

## 2.6 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 2.2;

Tabel 2.2 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.

## 2.7 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

## 2.8 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 2.1.

Tabel 2.3. Tinggi (h) minimum balok non prategang

Komponen	Tinggi minimum, h			
	Tertumpu Sederhana	Satu Ujung Menerus	Kedua ujung menerus	kantilever
Struktur				



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:

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

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:

$$d_s = S_b + \phi \text{ sengkang} + \frac{1}{2} D \dots \dots \dots (ii)$$

$$d = \frac{H}{2} - ds \dots \dots \dots (iii)$$

Dengan:

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

Sb = 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:

$$m = \frac{b-ds}{Sn+D} + 1 \dots \dots \dots (iv)$$

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

$$Mu = 1/8 q l^2 \dots \dots \dots (v)$$

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

$$a = \frac{As fy}{0,85 fc b} \dots \dots \dots (vi)$$

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 ( $A_s$ ) dalam  $\text{mm}^2$ , dengan rumus sebagai berikut:

$$A_s = \dots =$$

$$\frac{0,85 F_c a b}{f_y} \dots \dots \dots \text{(vii)}$$

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

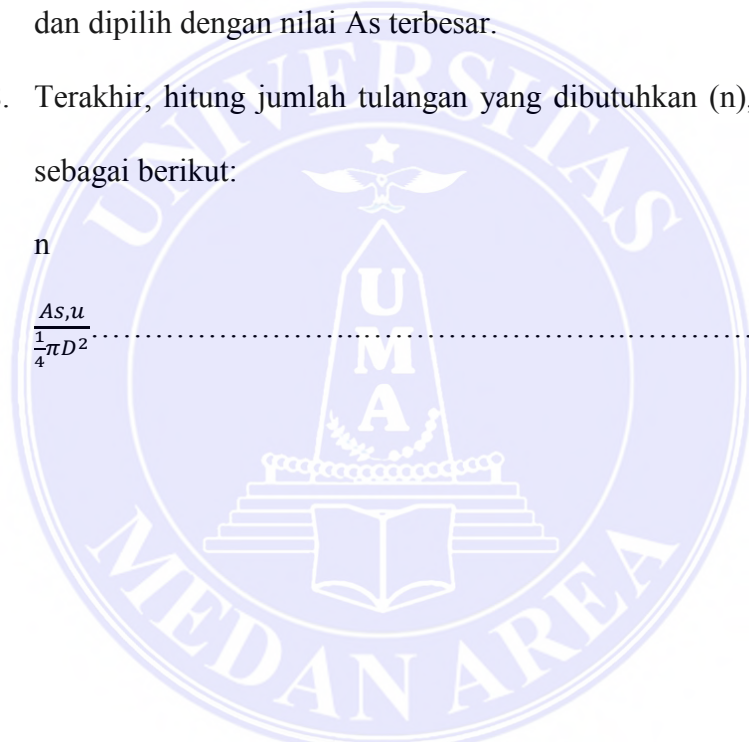
$$\text{Atau } A_s = \frac{\sqrt{f_c}}{4 f_y} b d \dots \dots \dots \text{(ix)}$$

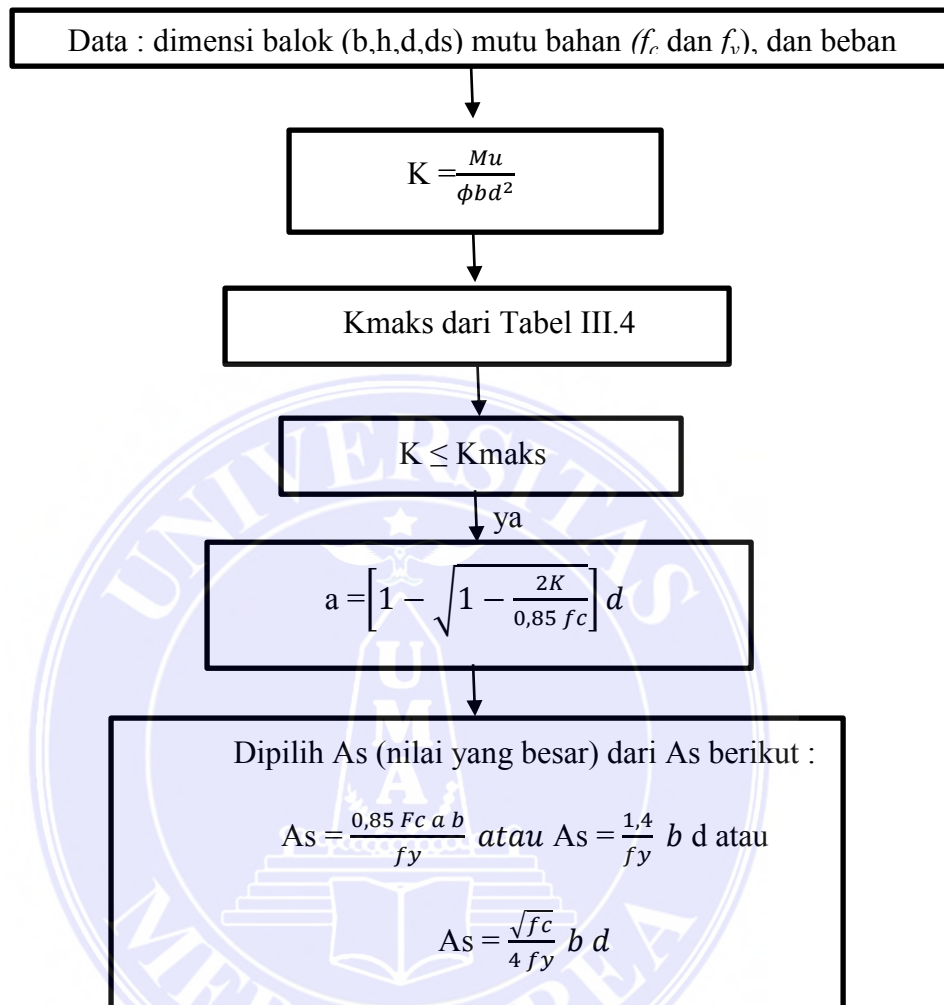
dan dipilih dengan nilai  $A_s$  terbesar.

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

$$n = \dots =$$

$$\frac{A_s, u}{\frac{1}{4} \pi D^2} \dots \dots \dots \text{(x)}$$





Gambar 2.8 Skema hitungan tulangan Longitudinal Balok (Penampang Balok dengan Tulangan Tunggal)

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

## 2.9 Faktor Keamanan

Agar dapat terjamin bahwa suatu struktur yang direncanakan mampu menahan beban yang bekerja, maka pada perencanaan struktur digunakan faktor keamanan tertentu. Faktor keamanan ini terdiri atas 2 (dua) jenis, yaitu:

- 1). Faktor keamanan yang berkaitan dengan beban luar yang bekerja pada struktur, disebut faktor beban.

2). Faktor keamanan yang berkaitan dengan kekuatan struktur gaya dalam), disebut faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ).

### 2.9.1 Faktor Beban

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (DPU,1983), beban yang harus diperhitungkan untuk suatu struktur adalah beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa dan kombinasi dari beban-beban tersebut. Pengertian dari setiap beban tersebut adalah sebagai berikut ini.

1. Beban-mati adalah berat dari semua bagian struktur gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, mesin-mesin, serta peralatan tetap yang merupakan bagian tak terpisahkan dari gedung itu.
2. Beban-hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap Gedung tersebut.
3. Beban-gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa tersebut.

4. Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekan udara

Berat sendiri bahan bangunan dan komponen stuktur gedung menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung (DPU, 1983) yang akan digunakan adalah berat beton bertulang yaitu 24 kN/m<sup>3</sup>

### 2.9.2 Faktor Reduksi Kekuatan $\phi$

Ketidakpastian kekuatan beton terhadap pembebanan pada komponen struktur dianggap sebagai factor reduksi kekuatan  $\phi$ , yang nilainya ditentukan menurut pasal 11.3 SNI 03-2847-2013 sebagai berikut:

1. Struktur lentur tanpa beban aksial (misalnya: balok)

$$\phi = 0,80$$

2. Beban aksial dan beban aksial dengan lentur

- a. Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur,

$$\phi = 0,80$$

- b. Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur

- i. Komponen struktur dengan tulangan spiral atau

Senggang ikat,

$$\phi = 0,70$$

- ii. Komponen struktur dengan tulangan Senggang

biasa,

$$\phi = 0,65$$

3. Geser dan torsi

$$\Phi = 0,75$$

4. Tumpuan pada beton

$$\phi = 0,65$$

## 2.10 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/Senggang, 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 2.4 berikut.

Tabel 2.4 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

## 2.11 Hubungan Baja dan Beton pada 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 2.5 Tegangan tekan dan Tarik baja yang diizinkan

Mutu Baja	Tegangan Tekan dan Tarik Izin Baja $\sigma_a^c$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	
	Pembebanan Tetap	Pembebanan Sementara
U		
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 2.6 dalam satuan  $\text{kg/cm}^2$ .

Tabel 2.6 Tegangan tekan dan tarik baja leleh karakteristik

Mutu Baja U	$\Sigma_{au}$ atau 0,2% ( $\sigma_{0,2}$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ )	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

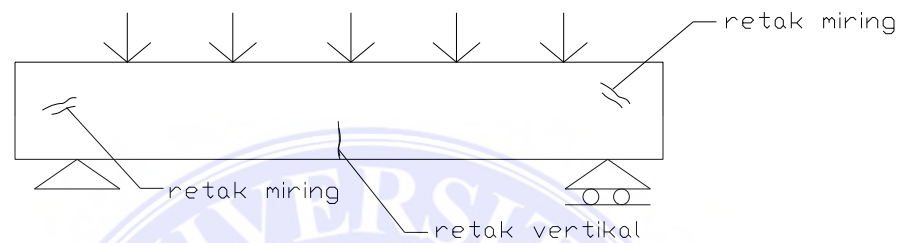
## 2.12 Kuat Beton Terhadap Gaya Tarik

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.

## 2.13 Tulangan Geser Balok

### 2.13.1 Retakan Pada Balok

Jika ada sebuah balok yang ditumpu secara sederhana (yaitu dengan tumpuan sendi pada ujung yang satu dan tumpuan rol pada ujung lainnya), kemudian diatas balok diberi beban cukup berat, balok tersebut dapat terjadi 2 jenis retakan, yaitu retak yang arahnya vertical dan retak yang arahnya miring.



Gambar 2.9 Jenis Retakan Pada Balok  
Sumber: Buku Teori dan Desain Balok Pelat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

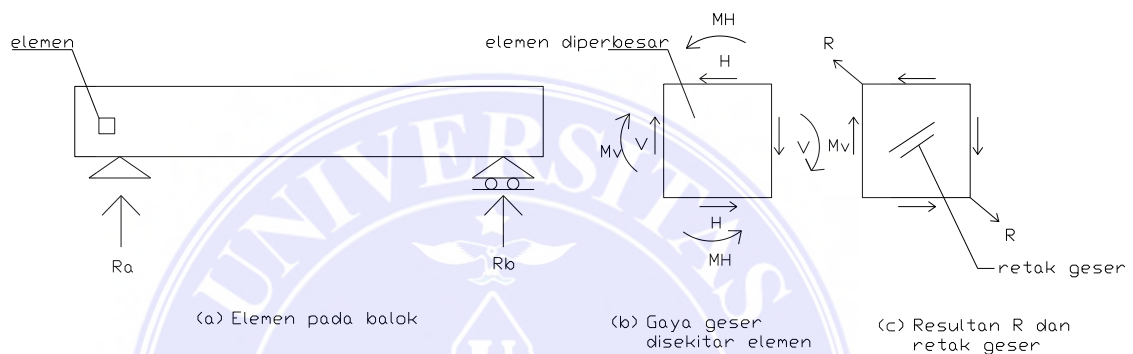
Retak vertikal terjadi akibat kegagalan balok dalam menahan beban lentur, sehingga biasanya terjadi pada daerah lapangan (bentang tengah) balok, karena pada daerah ini timbul momen lentur paling besar. Retak miring terjadi akibat kegagalan balok dalam menahan beban geser, sehingga biasanya terjadi pada daerah ujung (dekat tumpuan) balok, karena pada daerah ini timbul gaya geser paling besar. Retakan membentuk sudut  $45^\circ$ .

### 2.13.2 Retak Balok Akibat Gaya Geser

Untuk memberikan gambaran yang cukup jelas tentang bekerjanya gaya geser pada balok, diambil sebuah elemen kecil dari beton yang berada didekat ujung balok, kemudian elemen tersebut diperbesar sehingga

dapat dilukiskan gaya-gaya geser disekitar elemen beton seperti gambar 2.10.

Pada gambar 2.10, akibat berat sendiri dan beban-beban diatas balok, maka pada tumpuan kiri maupun kanan timbul reaksi ( $R_a$  dan  $R_b$ ) yang arahnya ke atas, sehingga pada tumpuan kiri terjadi gaya geser sebesar  $R_a$  ke atas.



Gambar 2.10 Retak balok akibat gaya geser  
Sumber: Buku Teori dan Desain Balok Pelat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

Pada Gambar 2.5 (c), terjadi keadaan berikut:

1. Gaya geser  $V$  keatas pada permukaan bidang kiri dan gaya geser  $H$  ke kiri pada permukaan bidang atas, membentuk resultant  $R$  yang arahnya miring ke kanan-bawah dengan sudut  $45^\circ$
2. Gaya geser  $V$  ke bawah pada permukaan bidang kanan dan gaya geser  $H$  ke kanan pada permukaan bidang bawah, juga membentuk resultant  $R$  yang arahnya miring ke kanan bawah dengan sudut  $45^\circ$ .
3. Kedua resultant yang terjadi sama besarnya, tetapi berlawanan arah dan saling tarik menarik.
4. Jika elemen beton tidak mampu menahan gaya tarik dari kedua resultant  $R$ , maka elemen beton akan retak dengan arah miring, membentuk sudut  $45^\circ$ .

### 2.13.3 Perencanaan Tulangan Geser

Perencanaan geser 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 2.11 Jenis-Jenis Sengkang

Analisis kekuatan geser tulangan sengkang miring baik bentuk konvensional maupun bentuk "U" menggunakan cara yang sama. Kekuatan geser kedua macam 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 :

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

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.

#### 2.13.4 Pertimbangan dalam perhitungan tulangan geser/begel

Beberapa rumus yang digunakan sebagai dasar untuk perhitungan tulangan geser/begel balok yang tercantum dalam pasal-pasal SNI 2847-2013, yaitu sebagai berikut:

- a. Pasal 11.1.1 SNI 2847-2013, gaya geser rencana, gaya geser nominal, gaya geser yang ditahan oleh beton dan begel dirumuskan:

$$V_d = \phi V_n \quad \text{dan} \quad \phi V_n \geq V_u \dots\dots\dots (i)$$

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (ii)$$

Dengan :

$V_d$  = gaya geser desain, Kn

$V_n$  = gaya geser nominal, kN

$V_c$  = gaya geser yang ditahan oleh beton, kN

$V_s$  = gaya geser yang ditahan oleh Sengkang, kN

$\phi$  = faktor reduksi kekuatan geser = 0,75 (Pasal 9.3.2.3)

- b. Pasal 11.3.1 SNI 2847-2013, nilai  $V_u$  boleh diambil pada jarak  $d$  (menjadi  $V_{ud}$ ) dari muka kolom.

$$V_{ud} = V_{ut} + \frac{x}{y} (V_u - V_{ut}) \dots\dots\dots (iii)$$

- c. Pasal 11.2.1.1 SNI 2847-2013, gaya geser yang ditahan oleh beton ( $V_c$ ) dihitung dengan rumus :

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f_c'} b d \dots\dots\dots (iv)$$

- d. Gaya geser yang ditahan oleh Sengkang ( $V_s$ ) dapat dihitung berdasarkan persamaan (i) dan (ii) sehingga menghasilkan:

$$V_s = (V_u - \phi V_c) / \phi \text{ dengan } \phi = 0,75 \dots \dots \dots (v)$$

e. Pasal 11.4.7.9  $V_s$  harus  $\leq V_{smaks}$  dengan

$$V_{smaks} = 0,66 \sqrt{F'c} b d \dots \dots \dots (vi)$$

Jika  $V_s > V_{smaks}$ , maka ukuran balok diperbesar.

f. Luas tulangan geser per meter panjang balok yang diperlukan ( $A_{v,u}$ ) dihitung dengan memilih nilai terbesar dari rumus berikut:

(a) Pasal 11.4.7.2

$$A_{v,u} = V_s S / (F_y \cdot d) \dots \dots \dots (vii)$$

Dengan:

$S$  = Panjang balok 1000 mm,

$F_y$  = Tegangan leleh tulangan.

(b) Pasal 11.4.6.3

$$A_{v,u} = 0,062 \sqrt{F'c} b S / F_y \dots \dots \dots (viii)$$

(c) Pasal 11.4.6.

$$A_{v,u} = 0,35 b S / F_y \dots \dots \dots (ix)$$

g. Spasi begel ( $s$ ) dihitung dengan rumus berikut:

$$(a) s = n \frac{1}{4} \pi d_p^2 S / A_{v,u} \dots \dots \dots (x)$$

dengan  $S$  = Panjang balok 1000 mm

(b) Pasal 11.4.5.1

Untuk  $V_s < 0,33 \sqrt{f'c} b$

d.....(xi)

Maka  $s \leq d/2$  dan  $s \leq 600$  mm

(c) Pasal 11.4.5.3

Untuk  $V_s > 0,33 \sqrt{f'c} b$

d.....(xii)

Maka  $s \leq d/4$  dan  $s \leq 300$  mm

### 2.13.5 Skema Hitungan Senggang Balok

Dengan memperhatikan dan menggunakan rumus-rumus terkait dengan begel balok pada diatas maka langkah hitungan begel balok dapat ditentukan berdasarkan 3 tahap sebagai berikut:

1. Dihitung gaya geser  $V_u$  dan gaya geser yang ditahan oleh beton ( $\phi V_c$ ).
2. Dihitung gaya geser yang ditahan oleh sengkang atau begel ( $V_s$ ).
3. Dihitung luas begel yang diperlukan untuk setiap 1 meter panjang balok ( $A_{v,u}$ ) dan jarak antara begel atau spasi begel.

Untuk mempermudah hitungan pada perencanaan begel balok, maka dibuat skema hitungan pada Gambar 2.7.





Data : Dimensi balok (b, h, d, ds), mutu bahan (fc,fy)

Gaya geser berfaktor yang ditahan beton ( $\phi V_c$ ):  
 $\phi V_c = \phi \frac{1}{6} \sqrt{f_c} b d$  dengan  $\phi = 0,75$

Ditentukan daerah penulangan

Daerah  $V_u < \phi V_c/2$

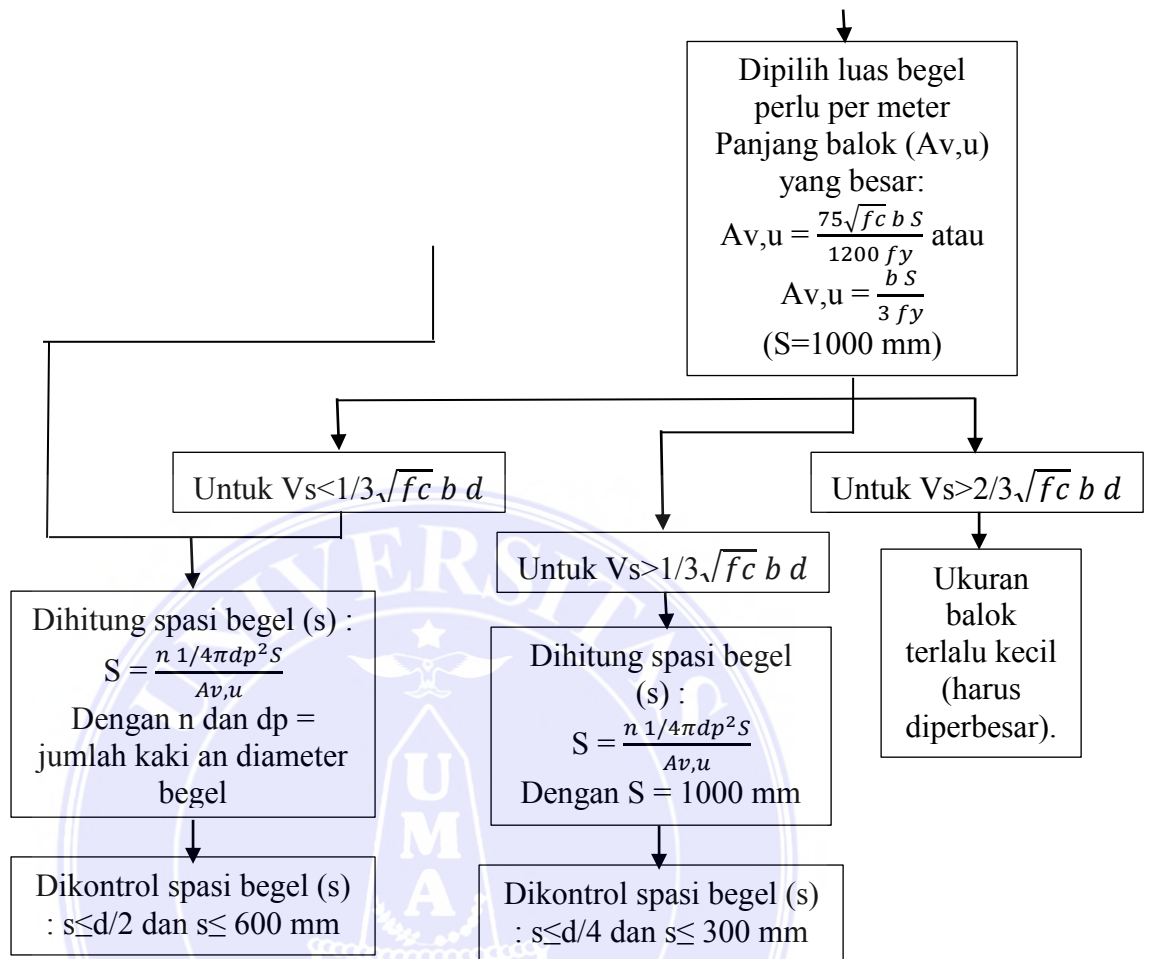
Tidak perlu begel atau dipakai begel dengan diameter kecil ( $\phi 6$ ) spasi  $\leq d/2$  dan  $\leq 600\text{mm}$ .

Daerah  $\phi V_c/2 < V_s < \phi V_c$

Dipakai luas begel perlu minimal per meter Panjang balok ( $A_{v,u}$ ) yang besar:  
 $A_{v,u} = \frac{75 \sqrt{f_c} b s}{1200 f_y}$  atau  
 $A_{v,u} = \frac{b s}{3 f_y}$   
 ( $S=1000 \text{ mm}$ )

Daerah  $V_u > \phi V_c$

Gaya geser yang ditahan begel ( $V_s$ ) =  $(V_u - \phi V_c) / \phi$

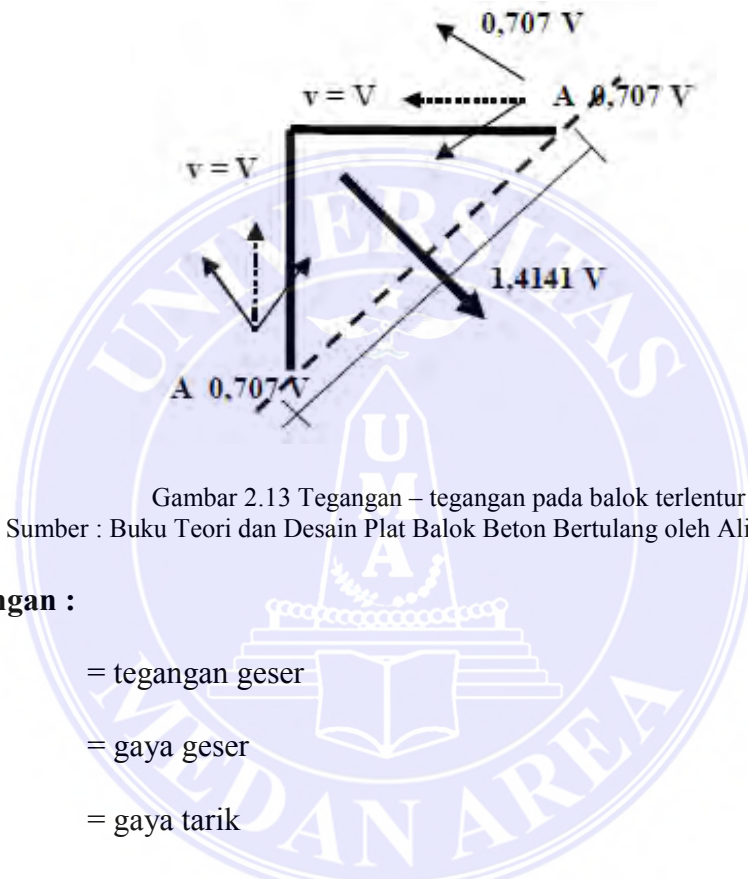


Gambar 2.12 Skema Hitungan Sengkang Balok  
Sumber : Buku Teori dan Desain Plat Balok Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

## 2.14 Kuat Geser Balok

Tegangan geser dan lentur akan timbul di sepanjang komponen struktur yang menahan gaya geser dan momen lentur, sehingga penampang komponen mengalami tegangan – tegangan pada wilayah antara garis netral dan serat tepi penampang. Komposisi tegangan – tegangan tersebut di suatu tempat akan menyesuaikan diri secara alami dengan membentuk keseimbangan tegangan geser dan tegangan normal maksimum dalam suatu bidang yang membentuk sudut kemiringan terhadap sumbu balok. Dengan

menggunakan lingkaran mohr dapat ditunjukkan, bahwa tegangan normal maksimum dan minimum akan bekerja pada dua bidang yang saling tegak lurus satu sama lainnya. Bidang– bidang tersebut dinamakan bidang utama dan tegangan–tegangan yang bekerja disebut tegangan–tegangan utama (lihat Gambar II.1).



Gambar 2.13 Tegangan – tegangan pada balok terlentur  
 Sumber : Buku Teori dan Desain Plat Balok Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

**Keterangan :**

- v = tegangan geser
- V = gaya geser
- T = gaya tarik
- 0,707 V = Komponen gaya normal terhadap terhadap bidang A – A
- T = 1,414 V

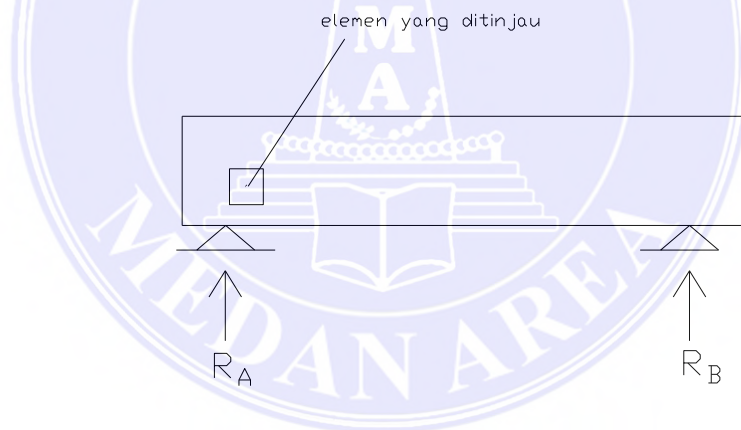
Retak miring akibat geser di badan balok beton bertulang dapat terjadi tanpa disertai retak akibat lentur di sekitarnya, atau dapat juga sebagai kelanjutan proses retak lentur yang telah mendahuluinya. Retak miring pada balok yang sebelumnya tidak mengalami retak lentur dinamakan sebagai retak geser badan.

Kejadian retak geser badan jarang dijumpai pada balok beton bertulang biasa dan lebih sering pada balok beton prategang berbentuk huruf I dengan badan tipis dan flens (sayap) lebar. Retak geser badan juga dapat terjadi di sekitar titik balik lendutan atau pada tempat di mana terjadi penghentian tulang balok struktur bentang menerus. Retak miring yang terjadi sebagai proses kelanjutan dari retak lentur yang telah timbul sebelumnya dinamakan sebagai retak geser lentur. Retak jenis terakhir ini dapat dijumpai baik pada balok beton bertulang biasa maupun prategang. Proses terjadinya retak lentur umumnya cenderung merambat dimulai dari tepi masuk ke dalam balok dengan arah hampir vertikal. Proses tersebut terus berlanjut tanpa mengakibatkan berkurangnya tegangan sampai tercapainya suatu kombinasi kritis tegangan lentur dan geser di ujung salah satu retak terdalam. Hal ini terjadi tegangan geser cukup besar yang kemudian mengakibatkan terjadinya retak miring. Pada balok beton bertulangan lentur arah memanjang, tulangan baja akan bertugas sepenuhnya menahan gaya tarik yang timbul akibat lenturan. Sementara itu, apabila beban yang bekerja terus meningkat, tegangan tarik dan geser juga akan meningkat seiring dengan beban. Tulangan baja yang diperuntukkan menahan momen lentur di dalam balok letaknya tidak pada tempat timbulnya tegangan tarik diagonal, sehingga untuk itu diperlukan tambahan tulangan baja untuk menahan tegangan tarik diagonal tersebut di tempat tempat yang sesuai (Dipohusodo, 1994). Mengenai retak miring pada balok beton bertulang, maka lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar II.2.



Gambar 2.14 Retak miring pada balok beton bertulang  
 Sumber : Buku Teori dan Desain Plat Balok Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

Untuk memberikan gambaran cukup jelas tentang bekerjanya gaya geser/gaya lintang pada balok, diambil sebuah elemen kecil dari beton yang berada di dekat ujung balok, kemudian elemen tersebut diperbesar sehingga dapat dilukiskan gaya-gaya geser di sekitar elemen beton seperti Gambar 2.15 dibawah ini.

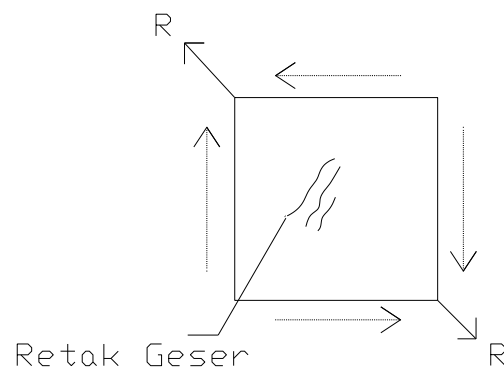


Gambar 2.15 Elemen pada balok

Pada Gambar 4.4 , akibat berat sendiri dan beban-beban di atas balok, maka pada tumpuan kiri maupun kanan timbul reaksi ( $R_A$  dan  $R_B$ ) yang arahnya ke atas, sehingga pada tumpuan kiri terjadi gaya lintang/geser sebesar  $R_A$  ke atas.

Gaya lintang  $R_A$  ini berakibat pada elemen beton (yang diperbesar) pada Gambar 4.5 sebagai berikut :

1. Arah reaksi RA ke atas, sehingga pada permukaan bidang elemen sebelah kiri terjadi gaya geser dengan arah ke atas pula.
2. Karena elemen beton berada pada keadaan stabil, berarti terjadi keseimbangan gaya vertikal pada elemen beton, sehingga pada permukaan bidang elemen sebelah kanan timbul gaya geser ke bawah. Kedua gaya geser pada kedua permukaan bidang (bidang kiri dan kanan) ini besarnya sama.
3. Akibat gaya geser ke atas pada kedua permukaan bidang kiri dan gaya geser ke bawah pada permukaan bidang kanan, maka pada elemen beton timbul momen yang arahnya sesuai dengan arah putaran jarum jam.
4. Karena elemen beton berada pada keadaan stabil, berarti terjadi keseimbangan momen pada elemen beton, sehingga momen yang ada harus dilawan oleh momen lain yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan dengan arah putaran jarum jam.
5. Momen lawan yang arahnya berlawanan dengan arah jarum putaran jam pada item 4) dapat terjadi, jika ada permukaan bidang elemen sebelah atas ada gaya geser dengan arah kiri, dan pada permukaan bidang elemen sebelah bawah ada gaya geser dengan arah ke kanan. Kedua gaya geser terakhir ini besarnya juga sama.



Gambar 2.16 Resultan R dan retak geser

Pada Gambar 2.16, terjadi keadaan berikut :

1. Gaya geser ke atas pada permukaan bidang kiri dan gaya geser ke kiri pada permukaan bidang atas, membentuk resultante R yang arahnya miring ke kiri-atas.
2. Gaya geser ke bawah pada permukaan bidang kanan dan gaya geser ke kanan pada permukaan bidang bawah, juga membentuk resultante R yang arahnya miring ke kanan-bawah.
3. Kedua resultant yang terjadi dari item 1 dan item 2 tersebut sama besarnya, tetapi berlawanan arah dan saling tarik-menarik.
4. Jika elemen beton tidak mampu menahan gaya tarik dari kedua resultant R, maka elemen beton akan retak dengan arah miring, membentuk sudut 45 derajat.

## 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 geser, dan juga data sekunder yang sifatnya mendukung keperluan data primer seperti buku-buku dan jurnal. Data tersebut mencakup besar kuat geser dan perbedaan kuat geser pada balok beton sederhana 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 8 mm dan 10 mm, berasal dari toko bahan bangunan di Medan.
3. Kawat untuk mengikat tulangan, berasal dari toko bahan bangunan di Medan.
4. Bekisting untuk cetakan balok beton bertulang digunakan triplek plywood 2 faced.

#### 3.3 Peralatan Penelitian

1. Alat pembuatan sampel uji kuat geser sengkang balok beton sederhana.



2. Alat pengujian kuat geser sengkang balok beton bertulang sederhana.



Gambar 3.1 Alat uji kuat geser

### 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, tulangan D8 mm sepanjang 41 cm untuk tulangan sengkang “U”

dan 52 cm untuk tulangan sengkang konvensional. 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 dibengkokkan 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 tulangnya. 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.

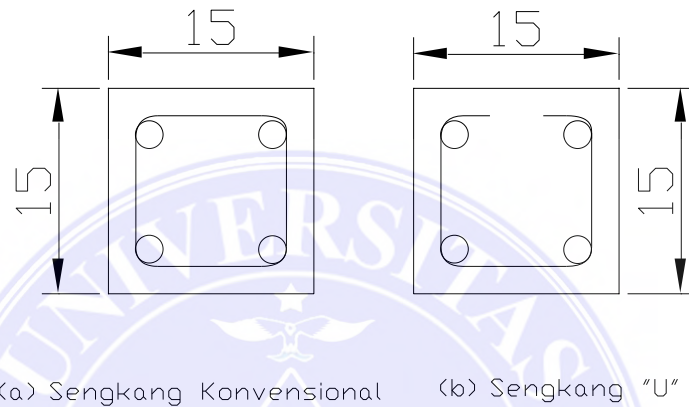
## 7. Pembongkaran Bekisting Beton

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 sengkang konvensional dengan ukuran lebar 15 cm, tinggi 15 cm dan bentang balok 50 cm. Spasi sengkang 45 mm. Jumlah sampel 2 buah.
2. Sampel berupa balok beton bertulang dengan tulangan sengkang "U" dengan ukuran lebar 15 cm, tinggi 15 cm dan bentang balok 50 cm. Spasi sengkang 45 mm. Jumlah sampel 2 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. Untuk

balok normal menggunakan tulangan geser arah vertikal, dengan variasi jarak spasi sesuai dengan perhitungan.

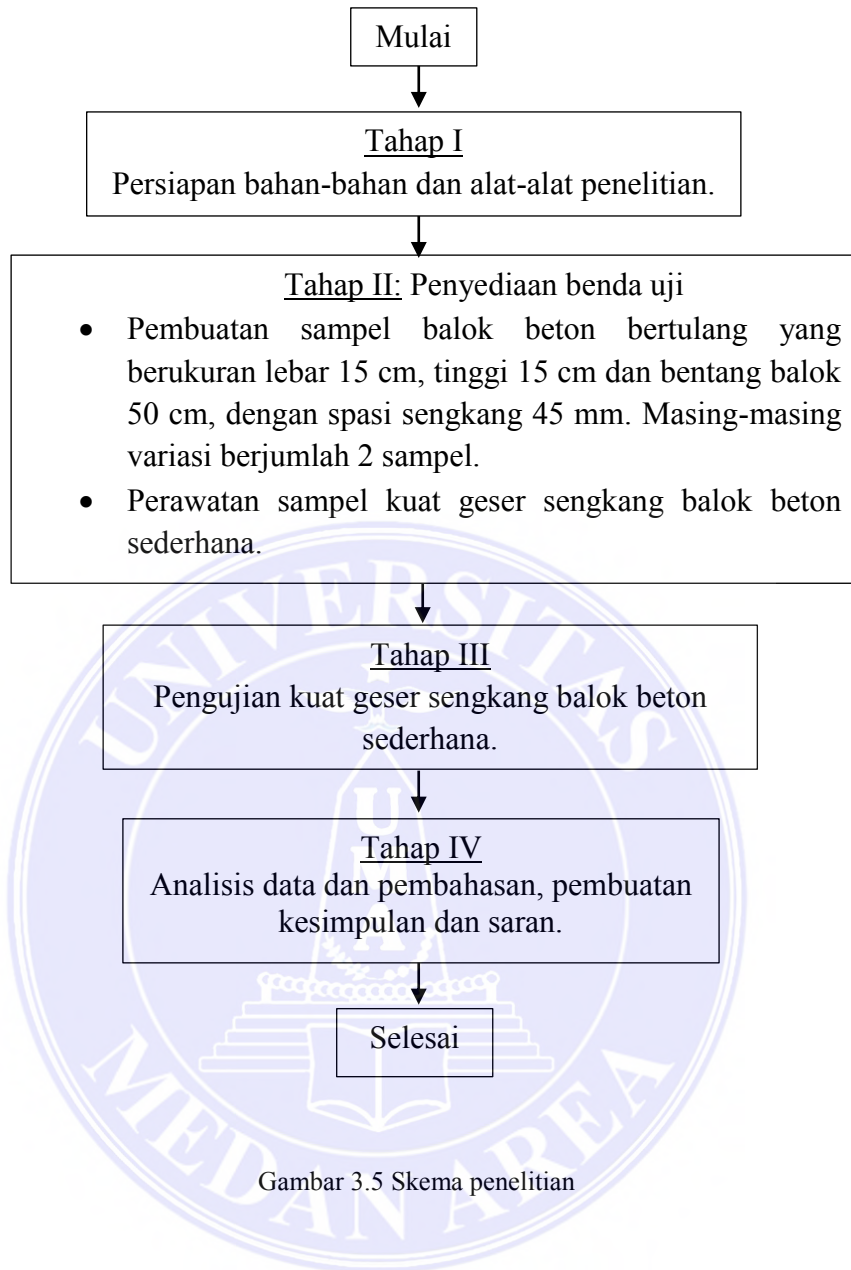
3. Pembuatan benda uji: Benda uji yang digunakan berbentuk balok persegi dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 50 cm. Sebelum pengecoran dilakukan persiapan bekisting. Pengecoran benda uji menggunakan ready mix dengan kuat tekan  $f'c$  sebesar 32,56MPa atau K350.
4. Pengujian kuat geser balok beton bertulang
  - 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 Tulangan benda uji dengan menggunakan sengkang konvensional dan sengkang “U”



Gambar 3.4 benda uji berupa balok ukuran (15 x 15 x 50) cm



Gambar 3.5 Skema penelitian

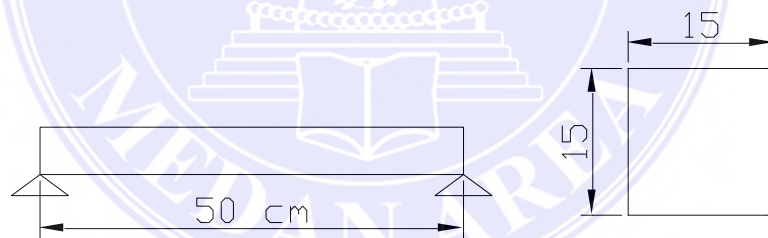
## BAB IV

### PEMBAHASAN DAN HASIL

#### 4.1 Analisa Perhitungan Tulangan

Dalam membuat balok beton bertulang, perlu diketahui banyak tulangan minimum serta jarak sengkang minimumnya, maka dari itu perlu perhitungan untuk mendapatkan jumlah minimum tulangan dan jarak minimum sengkang.

Diketahui sebuah balok bertulang sederhana dengan bentang 50 cm berukuran 150/150 dengan diameter tulangan utama 10 mm dan diameter tulangan sengkang 8 mm menahan beban berat sendiri. Dengan mutu beton  $f'_c = 32,56$  Mpa dan  $f'_y = 461,293$  Mpa



Gambar 4.1 Bentang dan dimensi balok yang direncanakan

#### 4.1.1 Penyelesaian Analisa Perhitungan

##### 1. Penulangan Geser

Diketahui :

Dimensi balok 150/150

$$d_s = 40 + 8 + 5 = 53\text{mm}$$



$$d = 150 - 53 = 97 \text{ mm}$$

$$q_u = q_{bs} = 0,15 \times 0,15 \times 2,4 \times 1,2 = 0,0648 \text{ t/m} = 0,648 \text{ kN/m}$$

$$V_u = q_u \cdot L = 0,648 \cdot 0,5 = 0,324 \text{ kN} = 324 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d \\ &= 0,75 \frac{1}{6} \cdot \sqrt{32,56} \cdot 150 \cdot 97 \\ &= 10398,79 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c / 2 = 10398,79 / 2 = 5199,396 \text{ N}$$

Jika  $V_u \leq \phi V_c / 2$  maka dipakai tulangan minimum  $\phi 6 \text{ mm } S \leq d/2$

Maka dipakai tulangan minimum  $\phi 8 \text{ mm } s = 97/2 = 48,5 \text{ mm} \sim 45 \text{ mm}$

## 2. Penulangan memanjang

Diketahui:

- $q_{bs} = 0,15 \times 0,15 \times 2,4 \times 1,2 = 0,0648 \text{ t/m} = 0,648 \text{ kN/m}$
- $f'_c = 32,576 \text{ Mpa}$
- $f_y = 461,293 \text{ Mpa}$

Digunakan:  $\phi$  tulangan utama 10mm

$\phi$  sengkang 8mm

Dimensi balok 150/150

$$d_s = 40 + 8 + 5 = 53 \text{ mm}$$

$$d = 150 - 53 = 97 \text{ mm}$$

$$K_{\text{maks}} = 8,4514 \text{ Mpa (Tabel 2.2)}$$

### 1. Jumlah tulangan perbaris

$$m = \frac{b-2ds}{D+sn} + 1 = \frac{150-2 \cdot 53}{10+40} + 1 = \frac{44}{50} + 1 = 1,88 \approx 2 \text{ batang perbaris}$$

(maksimum)

### 2. Penulangan

#### a. Penulangan momen positif

$$M_u^+ = 1/8 \cdot q_u \cdot l^2 = 1/8 \cdot 0,648 \cdot 0,5^2 = 0,02916 \text{ kNm}$$

$$K = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{0,02916 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 150 \cdot 97^2} = 0,01793 \text{ Mpa} < K_{\text{maks}} \text{ (OK)}$$

$$a = \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 f_c}} \right] d = \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2(0,02582)}{0,85 \cdot 32,56}} \right] 97$$

$$= 0,9053 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 32,56 \cdot 0,9053 \cdot 150}{461,293}$$

$$= 0,8147 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} \cdot b \cdot d = \frac{\sqrt{32,56}}{4 \cdot 461,293} \cdot 150 \cdot 97 = 44,995 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d = \frac{1,4}{461,293} \cdot 150 \cdot 97 = 44,158 \text{ mm}^2$$

Diambil yang terbesar,  $A_{s,u} = 45,24 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{A_{s,u}}{\frac{1}{4} \pi \cdot D^2} = \frac{44,995}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2} = 0,573 \approx 1 \text{ batang (minimum)}$$

#### b. Penulangan momen negatif

$$M_u^- = 1/3 \cdot M_u^+ = 1/3 \cdot 0,02916 = 0,00972 \text{ kNm}$$

$$K = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{0,00972 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 150 \cdot 97^2} = 0,00860 \text{ Mpa} < K_{\text{maks}} \text{ (OK)}$$

$$a = \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 f_c}} \right] d = \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2(0,00860)}{0,85 \cdot 32,56}} \right] 97$$

$$= 0,030146 \text{ mm}^2$$

$$As = \frac{0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 32,56 \cdot 0,030146 \cdot 150}{461,293} = 0,2712 \text{ mm}^2$$

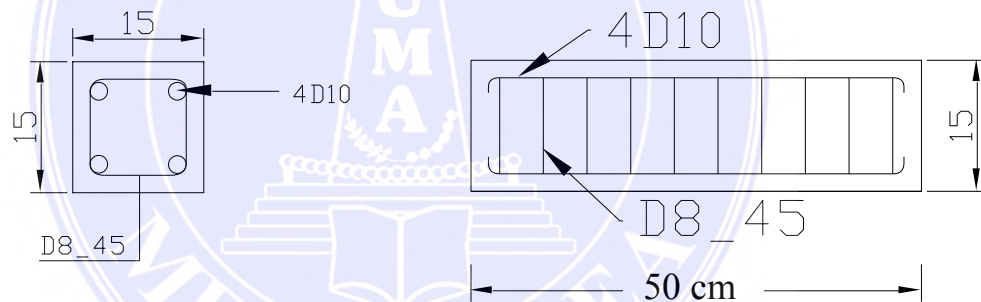
$$As = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} \cdot b \cdot d = \frac{\sqrt{32,56}}{4 \cdot 461,293} \cdot 150 \cdot 97 = 44,995 \text{ mm}^2$$

$$As = \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d = \frac{1,4}{461,293} \cdot 150 \cdot 97 = 44,158 \text{ mm}^2$$

Diambil yang terbesar  $As_u = 44,995 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{As_u}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{44,995}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2} = 0,57 \approx 1 \text{ batang (minimum)}$$

Maka digunakan : Tulangan utama 4D10  
Tulangan sengkang D8 mm\_45 mm



Gambar 4.2 Potongan tulangan

## 4.2 Pengujian Kuat Geser Balok

### 4.2.1 Hasil Pengujian

Setelah dilakukan pengujian balok didapat beban geser maksimum yang dapat ditahan oleh balok tertera dalam tabel 4.1.

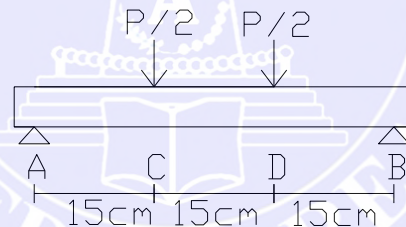
Tabel 4.1 Beban Geser Maksimum

Spasi Senggang (mm)	Senggang Konvensional		Senggang "U"		
	Beban Geser Maksimum (kN)		Spasi Senggang (mm)	Beban Geser Maksimum (kN)	
	I	II		I	II
45	62,0	63,2	45	55,30	58,20
Rata-rata	62,6		Rata-rata	56,75	

Sumber : Hasil Penelitian 2018

### 4.3 Analisa Perhitungan Kuat Geser

Setelah mengetahui beban geser maksimal melalui hasil penelitian, maka dapat dihitung kuat geser balok. Sebelumnya telah kita dapat hasil pengujian kuat tarik tulangan baja diperoleh kuat luluh ( $f_y$ ) sebesar 458,8003 MPa dan hasil pengujian kuat desak beton diperoleh dari ready mix Abadi beton dengan kuat desak ( $f_c$ ) sebesar 32,56 Mpa.



Gambar 4.3 Analisa perhitungan kuat geser

#### 4.3.1 Penyelesaian Perhitungan Kuat Geser

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 1/6 \sqrt{f'_c} b d \\
 &= 1/6 \sqrt{32,56} 150 . 97 \\
 &= 13837 \text{ N} \\
 &= 13,837 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

1. Pada Balok Beton dengan Sengkang “U”

a) Hasil uji 1

$$P = 55,3 \text{ kN}$$

$$P/2 = 27,65 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A \cdot 45 - P_1 \cdot 30 - P_2 \cdot 15 = 0$$

$$R_A \cdot 45 - (27,65)(30) - (27,65)(15) = 0$$

$$R_A \cdot 45 - 829,5 - 414,75 = 0$$

$$R_A = R_B = \frac{1244,25}{45} = 27,65 \text{ kN}$$

Besar gaya geser maksimal adalah  $V_u$  maks yaitu sebesar  $R_A$ .

$$V_u \text{ maks} = R_A = 27,65 \text{ kN}$$

Maka kuat geser Sengkang ( $V_s$ )

$$V_s = V_u - \phi V_c$$

$$= 27,65 - 13,837$$

$$= 13,813 \text{ kN}$$

b) Hasil uji 2

$$P = 58,2 \text{ kN}$$

$$P/2 = 29,1 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A \cdot 45 - P_1 \cdot 30 - P_2 \cdot 15 = 0$$

$$R_A \cdot 45 - (29,1)(30) - (29,1)(15) = 0$$

$$R_A \cdot 45 - 873 - 436,5 = 0$$

$$R_A = R_B = \frac{1309,5}{45} = 29,1 \text{ kN}$$

Besar gaya geser maksimal adalah  $V_u$  maks yaitu sebesar  $R_A$

$$V_u \text{ maks} = R_A = R_B = 29,1 \text{ kN}$$

Maka kuat geser Sengkang ( $V_s$ )

$$\begin{aligned}V_s &= V_u - \phi V_c \\ &= 29,1 - 13,837 \\ &= 15,263 \text{ kN}\end{aligned}$$

## 2. Pada Balok Beton dengan Sengkang Konvensional

### a) Hasil uji 1

$$P = 62 \text{ kN}$$

$$P/2 = 31 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A \cdot 45 - P_1 \cdot 30 - P_2 \cdot 15 = 0$$

$$R_A \cdot 45 - (31)(30) - (31)(15) = 0$$

$$R_A \cdot 45 - 930 - 465 = 0$$

$$R_A = R_B = \frac{1395}{45} = 31 \text{ kN}$$

Besar gaya geser maksimal adalah  $V_u$  maks yaitu sebesar  $R_A$

$$V_u \text{ maks} = R_A = R_B = 31 \text{ kN}$$

Maka kuat geser Sengkang ( $V_s$ )

$$\begin{aligned}V_s &= V_u - \phi V_c \\ &= 31 - 13,837 \\ &= 17,163 \text{ kN}\end{aligned}$$

### b) Hasil uji 2

$$P = 63,2 \text{ kN}$$

$$P/2 = 31,6 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A \cdot 45 - P_1 \cdot 30 - P_2 \cdot 15 = 0$$

$$R_A \cdot 45 - (31,6)(30) - (31,6)(15) = 0$$

$$R_A \cdot 45 - 948 - 474 = 0$$

$$R_A = R_B = \frac{1395}{45} = 31,6 \text{ kN}$$

Besar gaya geser maksimal adalah  $V_u$  maks yaitu sebesar  $R_A$

$$V_u \text{ maks} = R_A = R_B = 31,6 \text{ kN}$$

Maka kuat geser Sengkang ( $V_s$ )

$$V_s = V_u - \phi V_c$$

$$= 31,6 - 13,837$$

$$= 17,763 \text{ kN}$$



Tabel 4.2 Gaya Geser Maksimum ( $V_u$ )

Sengkang Konvensional		Sengkang "U"	
Spasi Sengkang	Gaya Geser Maksimum, $V_u$ (kN)	Spasi Sengkang	Gaya Geser Maksimum, $V_u$ (kN)

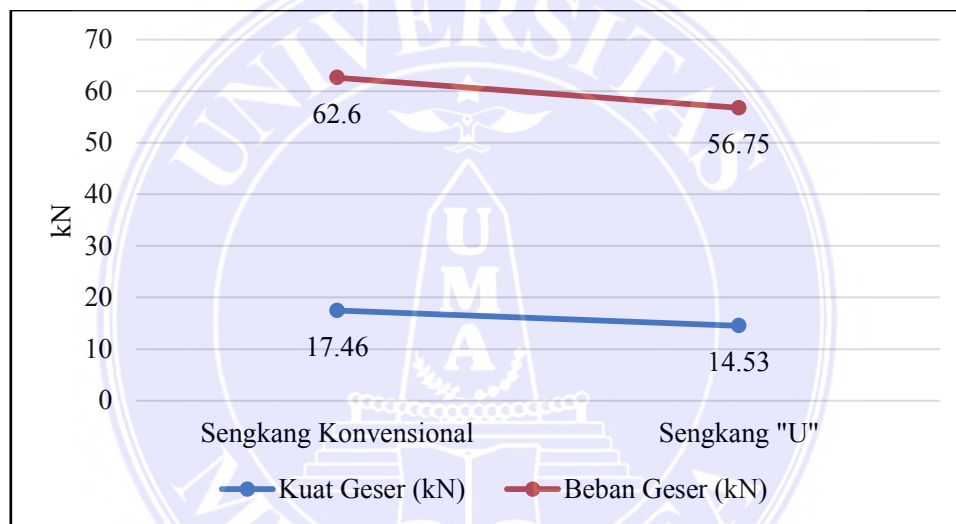
(mm)	I		II		(mm)	I		II	
45	31,0		31,6		45	27,65		29,10	
Rata-rata	31,3				Rata-rata	28,37			

Sumber : Hasil Penelitian 2018

Tabel 4.3 Kuat Geser Maksimum (Vs)

Senggang Konvensional				Senggang "U"			
Spasi Senggang (mm)	Kuat Geser Maksimum, Vs (kN)		Spasi Senggang (mm)	Kuat Geser Maksimum, Vs (kN)			
	I	II		I	II		
45	17,16	17,76	45	13,81	15,26		
Rata-rata	17,46		Rata-rata	14,53			

Sumber : Hasil Penelitian 2018



Gambar 4.4 Grafik kuat dan beban geser antara senggang konvensional dengan senggang "U"  
Sumber : Hasil Penelitian 2018

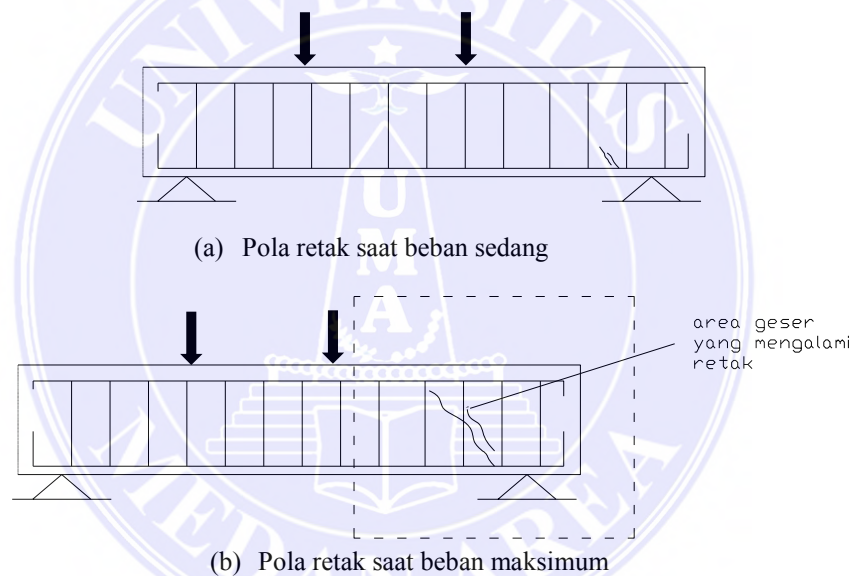
#### 4.4 Pembahasan

Beton dapat mengalami retak jika beban yang dipikulnya menimbulkan tegangan tarik yang melebihi kuat tariknya. Retak terjadi pada umumnya menunjukkan bahwa lebar celah retak sebanding dengan besarnya tegangan yang terjadi pada batang tulangan baja tarik dan beton pada ketebalan tertentu yang menyelimuti batang baja tersebut.



Retak geser pada bagian balok (web shear crack), terjadi akibat kegagalan balok dalam menahan beban geser, sehingga biasanya terjadi pada daerah ujung (dekat tumpuan) balok, karena pada daerah ini timbul gaya geser/gaya lintang paling besar. Retak yang terjadi yaitu arah keretakan miring, membentuk sudut sekitar  $45^\circ$ .

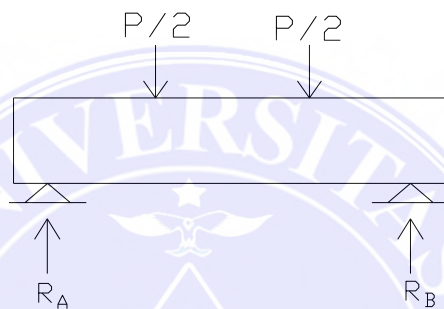
Balok pada area tumpuan mengalami kerusakan (retak geser) karena adanya transfer gaya-gaya yang bekerja dari tengah bentang, untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4.5 Pola retak geser

Berdasarkan gambar diatas pada area tumpuan mengalami retak akibat beban geser yang bekerja pada balok, karena adanya transfer gaya-gaya geser yang bekerja dari tengah bentang ke tumpuan. Sehingga dapat di ambil kesimpulan pada pengujian eksperimental ini tulangan sengkang tidak dapat menahan gaya geser pada saat beban mencapai batas maksimum.

Diamati dari keretakan geser yang terjadi, keretakan geser terjadi saat reaksi menekan ke atas pada tumpuan. Pada penelitian di atas, terjadi reaksi A dan reaksi B yang sama-sama menekan ke atas, sehingga keretakan yang terjadi bisa saja terlihat pada tumpuan A maupun tumpuan B dengan memenuhi persyaratan kegagalan geser yang terjadi pada retakan diagonal sebesar  $45^\circ$  pada daerah tumpuan.



Gambar 4.6 Arah Reaksi

Dari hasil penelitian yang diamati secara langsung di laboratorium, dapat terlihat bahwa keretakan yang terjadi pada balok beton yang menggunakan sengkang “U” lebih cepat dan bebannya lebih kecil dibandingkan dengan balok beton yang menggunakan sengkang konvensional. Keretakan yang terjadi pada balok beton yang menggunakan sengkang “U” pun terlihat lebih jelas dibandingkan dengan keretakan yang terjadi pada balok beton yang menggunakan sengkang konvensional. Pada balok beton yang menggunakan sengkang konvensional terlihat keretakan yang tipis, itu terjadi dikarenakan balok beton yang menggunakan sengkang konvensional lebih kuat dibanding dengan yang menggunakan sengkang “U”.



Gambar 4.7 Keretakan balok pada sengkang “U”  
Sumber: Hasil penelitian



Gambar 4.8 Keretakan balok pada sengkang konvensional  
Sumber: Hasil penelitian

Jika berdasarkan Grafik 4.1 dapat dijelaskan bahwa secara umum nilai beban geser dan kuat geser sengkang konvensional lebih besar dibanding sengkang “U”. Beban geser maksimal yaitu sebesar 62,6 kN untuk sengkang konvensional dan 56,75 kN untuk sengkang “U”. Kuat geser maksimal rata-rata

sebesar 17,46 kN untuk sengkang konvensional dan rata-rata 14,53 kN untuk sengkang “U”.

Terdapat perbedaan kuat geser antara tulangan sengkang konvensional dan tulangan sengkang “U” yaitu selisih kuat geser maksimal adalah sebesar 16,78%.. Perbedaan nilai juga terjadi pada beban geser maksimalnya, yaitu sebesar 9,34%.

Dari hasil penelitian, jika ditinjau pada nilai ekonomis bahan, maka selisih perbedaan antara sengkang konvensional dengan sengkang “U” tidak terlalu jauh. Selisih dari hasil penelitian pada satu buah sengkang, untuk sengkang konvensional membutuhkan potongan besi sepanjang 52 cm sedangkan untuk sengkang “U” membutuhkan potongan besi sepanjang 41 cm. Terlihat selisih antara sengkang konvensional dengan sengkang “U” hanya sebesar 11 cm dalam satu buah sengkang. Jika pada balok ukuran 50 cm, untuk sengkang konvensional membutuhkan 520 cm atau 5,2 m sedangkan untuk sengkang “U” membutuhkan potongan besi sepanjang 410 cm atau 4,1 m. Terlihat hanya sedikit perbedaan yaitu sekitar 1,1 m. Maka penggunaan sengkang “U” tidak terlalu mempengaruhi harga bahan secara signifikan.

Seperti yang terlihat di atas bahwa perbedaan kuat geser antara sengkang konvensional dengan sengkang “U” sebesar 16,78%. Jika dibandingkan dengan nilai ekonomis bahan, maka selisih kuat geser yang terjadi antara sengkang konvensional dengan sengkang “U” tidak memiliki perbandingan yang begitu besar dengan nilai ekonomis bahan, dengan itu bahwa penggunaan sengkang “U” dapat meminimalisir nilai ekonomis, namun tidak terlalu jauh dibanding

dengan sengkang konvensional karena terdapat perbedaan selisih kuat geser yang sedikit lebih besar dibanding nilai ekonomisnya yang tidak terlampau jauh.



## 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 geser maksimal yang terjadi yaitu rata-rata sebesar 62,6 kN untuk sengkang konvensional dan 56,75 kN untuk sengkang “U”.
2. Kuat geser maksimal rata-rata sebesar 17,46 kN untuk sengkang konvensional dan 14,53 kN untuk sengkang “U”.
3. Terdapat perbedaan kuat geser antara tulangan sengkang konvensional dan tulangan sengkang “U”, yaitu selisih terbesar kuat geser maksimal adalah sebesar 16,78%. Perbedaan nilai juga terjadi pada beban geser maksimalnya, yaitu sebesar 9,34%.
4. Dalam penggunaannya, sengkang “U” dapat meminimalisir nilai ekonomis, namun tidak terlampaui jauh dibanding dengan sengkang konvensional karena terdapat perbedaan selisih kuat geser yang sedikit lebih besar dibanding nilai ekonomisnya yang tidak terlampaui jauh.

#### 5.2 Saran

1. Penelitian yang telah dilakukan ini terbatas dengan alat pengujian geser 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 geser 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, yaitu dengan menggunakan jumlah sampel yang lebih banyak lagi dan tetap dipakai sengkang konvensional di ujung – ujung dan di tengah tulangan memanjang agar didapatkan data yang lebih.

## DAFTAR PUSTAKA

- 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
- Bambang Sutrisno, 2013. (Naskah Publikasi) *Tinjauan Kuat Geser Balok Beton Sederhana dengan Sengkang Kombinasi Antara Sengkang Alternatif dan Sengkang Model "U" atau "n" yang Dipasangkan Secara Miring Sudut Tiga Puluh Derajat*, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta
- Diar Fajar Hariawan, 2013. (Naskah Publikasi) *Tinjauan Kuat Geser Kombinasi Sengkang "Alternatif" dan Sengkang "U" atau "n" dengan Pemasangan Secara Vertikal Pada Balok Beton Sederhana*, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Muhammad Igbal, 2013. (*Jurnal*) *Pengujian Geser Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Sengkang Konvensional*, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Sajekti, Amien, 2013. *Metode Kerja Bangunan Sipil*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Sangga Pramana, 2018. (artikel). *Retakan pada balok akibat gaya geser*, Semarang.  
<https://sanggapramana.wordpress.com/2010/07/31/retakan-pada-balok-akibat-gaya-geser/>
- 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



## LAMPIRAN

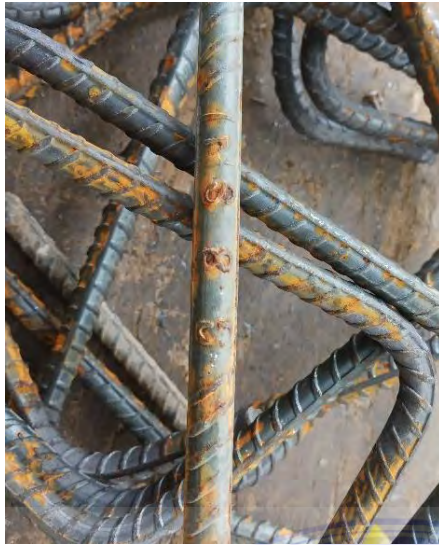
### FOTO DOKUMENTASI



Gambar 1. Lokasi Laboratorium Beton Teknik Sipil USU



Gambar 8. Campuran beton



(a) Tulangan diameter 8 mm



(b) Tulangan diameter 10 mm

Gambar 9. Tulangan baja



Gambar 10. Kawat pengikat



Gambar 11. Bekisting



Gambar 12. Tulangan setelah dipotong



Gambar 13. Mesin bar cutter



Gambar 14. Tempat pembengkokan tulangan



(a)



(b)

Gambar 15. Kait tulangan setelah dibengkokkan

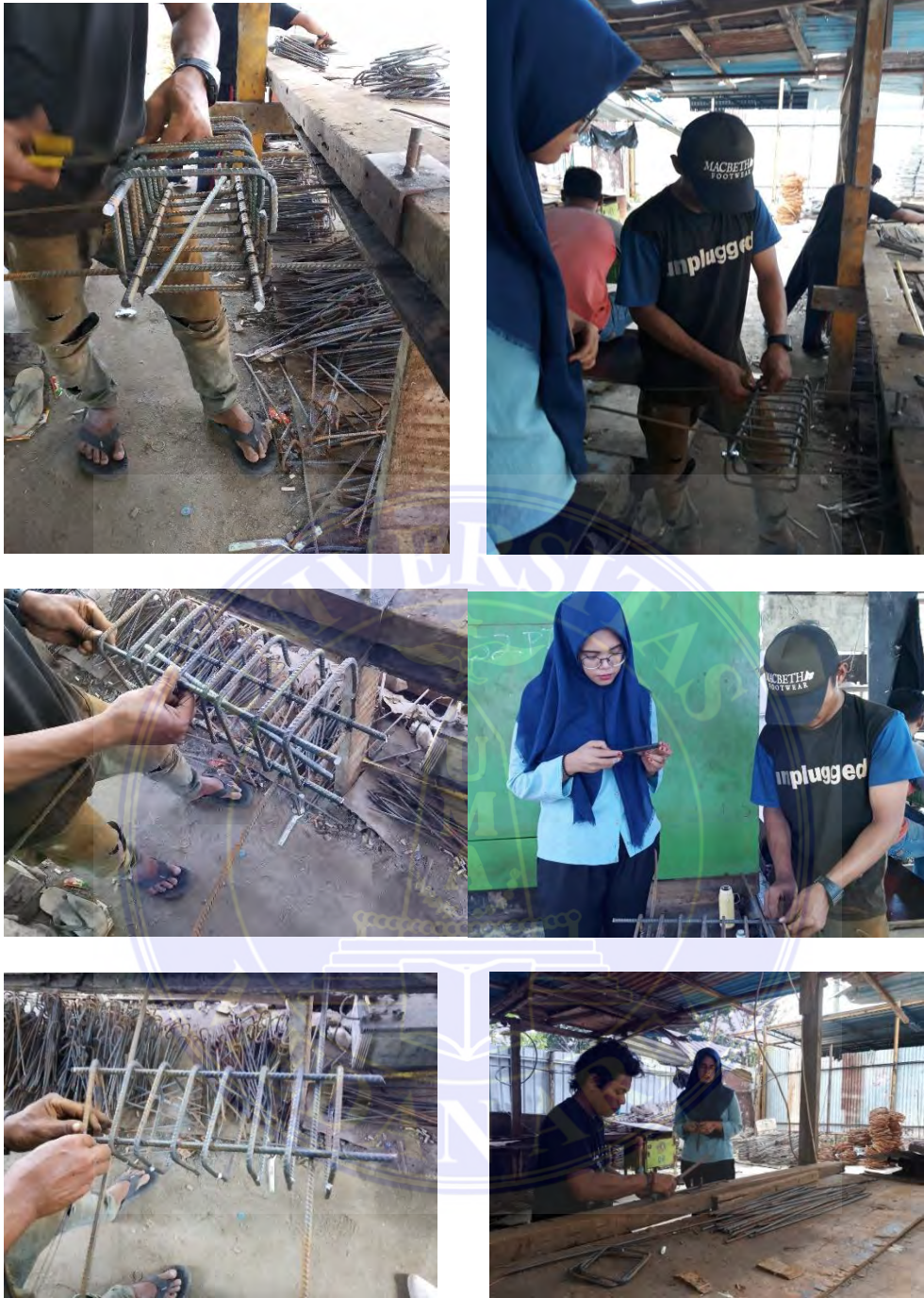


(a) Senggang Konvensional



(b) Senggang "U"

Gambar 15. Model Senggang



Gambar 16. Perakitan tulangan



Gambar 17. Perbedaan menggunakan sengkang “U” dengan sengkang konvensional



Gambar 18. Pemasangan tulangan



Gambar 19. Pemasangan tahu beton



Gambar 20. Penuangan campuran beton





Gambar 21. Perojokan campuran beton



Gambar 22. Perataan campuran beton



(a) Sebelum dibongkar



(b) Setelah dibongkar

Gambar 23. Pembongkaran beton



Gambar 24. Alat uji kuat geser



Gambar 25. Pengukuran dan penandaan



Gambar 26. Penimbangan sampel



Gambar 27. Pengujian Kuat Geser Balok



Gambar 28. Hasil Pengujian Kuat Geser Balok