

SKRIPSI
ANALISA PENGARUH JARAK SENKANG
KONVENSIONAL TERHADAP KUAT GESER PADA BALOK
BETON BERTULANG

Diajukan Untuk Syarat Dalam Sidang Sarjana
Universitas Medan Area

Disusun oleh :
ALDI PRANATA
15.811.0016



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2020

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 22/12/21

Access From (repository.uma.ac.id)22/12/21

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH JARAK SENGGANG KONVENSIONAL TERHADAP KUAT GESER PADA BALOK BETON BERTULANG (PENELITIAN)

Disusun Oleh :

Aldi Pranata

15.811.0016

Disetujui :

Pembimbing I

(Ir. Edy Hermanto, M.T)

Pembimbing II

(Ir. Nurmaidah, M.T)

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik

(Ir. Dina Maizana, M.T)

Fakultas Teknik
Prodi Teknik Sipil

(Ir. Nurmaidah, M.T)

LEMBAR PERNYATAAN

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

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan,

Materai 6000



Aldi Pranata

(15.811.0016)

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR/SKRIPSI/ TESIS UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS**

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

Nama : Aldi Pranata
Npm : 15 811 0016
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Penelitian/ Skripsi /Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area, Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-Eksclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisa Pengaruh Jarak Senggang Konvensional Terhadap Kuat Geser Pada Balok Beton Bertulang, beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif ini, Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (data-base), merawat dan mempublikasikan penelitian saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, Oktober 2020



Aldi Pranata
NPM 158110016

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 22/12/21

Access From (repository.uma.ac.id)22/12/21

ABSTRAK

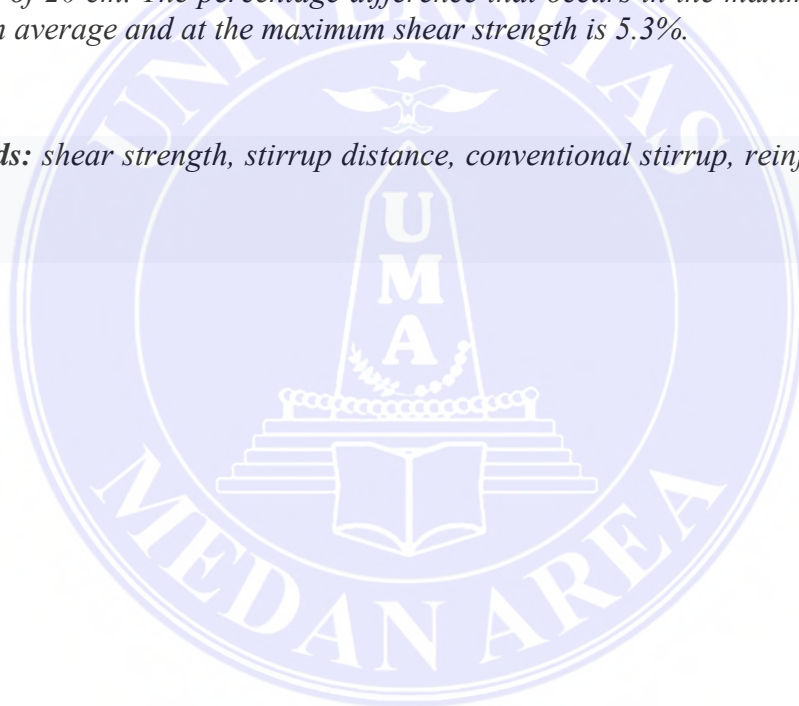
Penulangan geser digunakan untuk menahan pembebanan geser yang terjadi pada balok dan mempunyai konsep perhitungan bahwa bagian tulangan sengkang yang berfungsi menahan beban geser adalah bagian pada arah vertikal, sedangkan pada arah horisontal tidak diperhitungkan menahan beban gaya yang terjadi pada balok. Penelitian ini bertujuan mengetahui beban geser maksimal, kuat geser maksimal, dan besar perbedaannya antara jarak sengkang 10 cm, 15 cm dan 20 cm pada balok beton bertulang sederhana. Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa pada beban geser maksimal sebesar 18,983 kN pada jarak sengkang 10 cm, 18,4 kN pada jarak sengkang 15 cm dan 17,9 kN pada jarak sengkang 20 cm. Sedangkan kuat geser maksimal sebesar 11.01 kN untuk jarak sengkang 10 cm, 10,427 kN pada jarak sengkang 15cm dan 9.927 pada jarak sengkang 20 cm. Persentase selisih yang terjadi pada beban geser maksimum rata-rata sebesar 3% dan pada kuat geser maksimum rata-rata 5,3%.

Kata kunci: kuat geser, jarak sengkang, sengkang konvensional, balok beton bertulang.

ABSTRACT

Shear reinforcement is used to withstand shear loads that occur in the beam and has a calculation concept that the part of the reinforcing bar which functions to withstand shear loads is the part in the vertical direction, while in the horizontal direction it is not considered to withstand the force load that occurs on the beam. This study aims to determine the maximum shear load, maximum shear strength, and the difference between 10 cm, 15 cm and 20 cm stirrup distances in simple reinforced concrete beams. Based on the results of the analysis, it is known that the maximum shear load is 18,983 kN at 10 cm stirrup spacing, 18.4 kN at 15 cm stirrup spacing and 17.9 kN at 20 cm stirrup distance. While the maximum shear strength is 11.01 kN for a stirrup distance of 10 cm, 10.427 kN at a stirrup distance of 15cm and 9,927 at a stirrup distance of 20 cm. The percentage difference that occurs in the maximum shear load is 3% on average and at the maximum shear strength is 5.3%.

Keywords: *shear strength, stirrup distance, conventional stirrup, reinforced concrete beams.*



KATA PENGANTAR

Puji syukur saya 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. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada keluarga terutama kedua orang tua saya, Bapak Sunardi dan ibu Srisusianingsih yang telah banyak memberi kasih sayang dan dukungan moril maupun materi serta doa yang tiada henti untuk penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M. Eng., M.Sc., selaku Rektor Universitas Medan Area.
3. Ibu. Dr. Ir. Dina Maizana, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
4. Ibu Ir.Nurmaidah, M.T., selaku Kaprodi Teknik Sipil Universitas Medan Area.
5. Bapak, Ir.Edy Hermanto, M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam membantu pelaksanaan skripsi ini.

6. Ibu Ir. Nurmaidah, M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam membantu pelaksanaan skripsi ini.
7. Seluruh Dosen dan Pegawai di Fakultas Teknik Sipil Universitas Medan Area.
8. Ucapan terima kasih kepada teman-teman yang telah membantu dalam melakukan penelitian dan pengambilan data.

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, 2021

Penyusun :

Aldi Pranata

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR GRAFIK.....	xv
DAFTAR NOTASI.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Maksud dan Tujuan	3
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metode Pengambilan Data.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Beton.....	5
2.1.1. Kelebihan dan Kekurangan Beton	6
2.1.2. Kinerja Beton.....	9
2.2 Kekuatan Beton dan Tulangan.....	11
2.2.1 Kekuatan Beton.....	11
2.2.2 Kekuatan Baja Tulangan.....	13
2.3 Balok.....	14

2.3.1	Balok Beton Tanpa Tulangan	15
2.3.2	Balok Beton Dengan Tulangan.....	16
2.3.3.	Fungsi Utama Beton dan Tulangan	17
2.3.4	Pola Retak Pada Balok.....	18
2.3.5	Geser Pada Balok.....	20
2.4	Kait (Angkur) Tulangan.....	23
2.5	Kekuatan Beton Bertulang.....	24
2.5.1.	Jenis Kekuatan	24
2.5.2	Prinsip Hitungan Struktur Beton Bertulang.....	26
2.6	Pemasangan Tulangan	27
2.6.1.	Pemasangan Tulangan Longitudinal.....	27
2.6.2.	Pemasangan Tulangan Geser.....	28
2.6.3	Jarak Tulangan Pada Balok	29
2.6.4	Jumlah Tulangan Maksimum dalam Satu Baris.....	30
2.7	Kuat Beton Terhadap Gaya Tarik.....	32
2.8	Tebal Selimut Beton	33
2.9	Perhitungan Balok Beton Bertulang	33
2.10.	Hubungan Baja dan Beton pada Beton Bertulang	37
2.11	Tulangan Geser Balok	39
2.11.1	Retakan Pada Balok	39
2.11.2	Retak Balok Akibat Gaya Geser	39
2.12	Perencanaan Tulangan Geser.....	41
2.12.1	Pertimbangan Dalam Perhitungan Tulangan Geser/begel.....	43
2.12.2	Hitungan Sengkang Balok.....	45

2.13	Kuat Geser Balok.....	45
2.14	Air ⁴⁷	
2.14.1	Faktor Air Semen	47
BAB III METODE PENELITIAN		51
3.1	Gambaran Umum.....	51
3.2	Lokasi Penelitian.....	51
3.4	Bahan Penelitian	53
3.5	Peralatan Penelitian.....	53
3.6	Tahapan persiapan	54
3.7	Persiapan Pengujian.....	54
3.7.1	Pembuatan Sampel Balok Beton Bertulang.....	54
3.8	Perencanaan Campuran Beton (mix desain).....	59
3.8.1	Perhitungan Mix Desain	59
3.9	Pelaksanaan Penelitian.....	63
3.9.1	Sampel Penelitian	63
3.10	Tahapan Penelitian.....	64
Penelitian dilaksanakan dalam 5 tahap yang dijelaskan sebagai berikut:		64
BAB IV PEMBAHASAN DAN HASIL		66
4.1	Analisa Perhitungan Tulangan.....	66
4.1.1	Penyelesaian Analisa Perhitungan	67
4.2	Pengujian Kuat Geser Balok.....	70
4.2.1	Hasil Pengujian	70
4.3	Analisa Perhitungan Kuat Geser.....	71
4.3.1	Penyelesaian Perhitungan Kuat Geser.....	71

4.4	Pembahasan	78
4.4.1	Pola Keretakan.....	80
4.4.2	Perbedaan Kuat Geser dan Beban Geser	82
4.4.3	Perbedaan nilai ekonomis.....	83
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		84
5.1	Kesimpulan.....	84
5.2	Saran	85
DAFTAR PUSTAKA		87
LAMPIRAN FOTO DOKUMENTASI.....		88



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.....	14
Tabel 2.2.....	22
Tabel 2.3.....	33
Tabel 2.4.....	34
Tabel 2.5.....	38
Tabel 2.6.....	38
Tabel 2.7.....	48
Tabel 2.8.....	50
Tabel 3.1.....	61
Tabel 4.1.....	70
Tabel 4.2.....	77
Tabel 4.3.....	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	10
Gambar 2.2	12
Gambar 2.3	16
Gambar 2.4	17
Gambar 2.5	19
Gambar 2.6	21
Gambar 2.7	24
Gambar 2.8	27
Gambar 2.9	28
Gambar 2.10	29
Gambar 2.11	31
Gambar 2.12	37
Gambar 2.13	39
Gambar 2.14	40
Gambar 2.15	41
Gambar 2.16	46
Gambar 2.17	47

Gambar 3.1.....	51
Gambar 3.2.....	52
Gambar 3.3.....	53
Gambar 3.4.....	55
Gambar 3.5.....	56
Gambar 3.6.....	56
Gambar 3.7.....	57
Gambar 3.8.....	58
Gambar 3.9.....	58
Gambar 3.10.....	59
Gambar 3.11.....	63
Gambar 4.1.....	66
Gambar 4.2.....	70
Gambar 4.3.....	71
Gambar 4.4.....	79
Gambar 4.5.....	80
Gambar 4.6.....	81
Gambar 4.7.....	81
Gambar 4.8.....	82

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1.....	49
Grafik 3.1.....	60
Grafik 4.1.....	78



DAFTAR NOTASI

A_s	= Luas tulangan tarik non-prategangan (mm ²)
A_1	= Luas penampang pada daerah pelat (mm ²)
A_2	= Luas penampang pada daerah balok (mm ²)
b	= Lebar bagian <i>flens efektif</i> penampang balok T (mm)
b_e	= Lebar mamfaat penampang balok T (mm)
b_w	= Lebar badan balok (mm)
D	= Diameter baja tulangan ulir (mm)
DL	= Beban mati merata (ton/m)
d	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)
E_c	= Modulus elastisitas beton (MPa)
E_{cb}	= Modulus elastisitas balok beton (MPa)
E_{cs}	= Modulus elastisitas pelat beton (MPa)
E_s	= Modulus elastisitas baja tulangan (MPa)
$f'c$	= Kuat tekan beton atau mutu beton (MPa)
f_y	= Tegangan luluh baja tulangan yang diisyaratkan (MPa)
h	= Tebal atau tinggi total balok (mm)
h_f	= Tebal <i>efektif</i> pelat (mm)
h_{maks}	= Tebal <i>efektif</i> pelat maksimum (mm)
h_{min}	= Tebal <i>efektif</i> pelat minimum (mm)
I	= Momen inersia penampang yang menahan beban luar terfaktor (mm ⁴)
I_b	= Momen inersia terhadap sumbu titik pusat penampang bruto balok (mm ⁴)

- I_s = Momen inersia terhadap sumbu titik pusat penampang bruto pelat (mm⁴)
- L = Panjang bentang balok atau pelat dari as ke as tumpuan (mm)
- LL = Beban hidup merata (ton/m)
- L_y = Panjang bentang balok atau pelat terpanjang dari as ke as tumpuan (mm)
- L_x = Panjang bentang balok atau pelat terpendek dari as ke as tumpuan (mm)
- L = Panjang bentang balok atau pelat searah dengan penulangan yang ditinjau, proyeksi bersih struktur kantilever (mm)
- l_n = Bentang bersih untuk momen positif atau geser dan rata-rata bentang bersih yang bersebelahan untuk momen negative, atau panjang bentang bersih dalam arah momen yang dihitung diukur dari muka ke muka tumpuan (mm)
- MU = Momen *ultimate* (ton.m)
- P = Penutup beton atau selimut beton (mm)
- P_w = Beban terpusat angin
- P_t = Beban terpusat
- Q = Beban merata dalam bentuk segitiga atau trapezium (ton/m)
- q = Beban merata dalam bentuk persegi (ton/m)
- S = Spasi tulangan geser atau torsi kearah parallel dengan tulangan longitudinal (mm)
- U = Kuat perlu untuk menahan beban yang telah dikalikan dengan faktor beban atau momen dan gaya yang berhubungan dengannya.
- V_c = Kuat geser nominal yang disumbangkan beton.
- V_s = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser.

- V_u = Gaya geser terfaktor pada penampang.
- w = Beban angin, atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengannya (ton/m²)
- W_u = Beban *ultimate* (ton/m²)
- W = Berat sendiri (ton)
- WD = Beban mati ((ton/m²)
- WL = Beban hidup (ton/m²)
- X = Jarak titik pusat berat arah x (mm)
- Y = Jarak titik pusat berat arah y (mm)
- α = rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan pelat.
- α_m = Nilai rata-rata α untuk semua balok pada sisi tepi suatu panel.
- β = Rasio bentang bersih arah memanjang terhadap arah melebar pelat dua arah
- \emptyset = Diameter baja tulangan Polos
- ρ = Rasio penulangan tarik non-prategangan.
- ρ_{anl} = Rasio penulangan analisa tarik non-prategangan.
- ρ_b = Rasio penulangan pada keadaan seimbang regangan.
- ρ_{min} = Rasio penulangan maksimum tarik non-prategangan.
- ρ_{min} = Rasio penulangan minimum tarik non-prategangan.
- \emptyset = Faktor reduksi kekuatan
- σ_c = Tegangan beton
- σ_s = Tegangan baja

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton bertulang merupakan pilihan bahan konstruksi yang paling umum digunakan dibandingkan bahan konstruksi lainnya seperti baja, kayu, dll. Banyak fasilitas umum maupun bangunan pribadi yang menggunakan beton bertulang seperti sekolah, bandara, mall, bahkan bangunan rumah sederhana. Hal ini didorong oleh material pembentuk beton bertulang yang muda diperoleh di banyak daerah di Indonesia baik bahan pengisi beton (agregat kasar & halus), maupun semen sebagai bahan pengikat beton, bahkan tulangan baja yang semakin mudah didistribusikan, serta keuntungan beton bertulang lainnya, Kumaseh dkk (2015).

Beton bertulang sebagai elemen balok harus diberi penulangan yang berupa penulangan lentur dan penulangan geser (sengkang). Ada beberapa macam tulangan geser pada balok, yaitu tulangan sengkang vertikal, sengkang spiral, sengkang miring. Ketiga macam tulangan ini sudah sangat lazim diterapkan dan sudah sangat dikenal dalam dunia konstruksi, sehingga dapat dikenal sebagai tulangan sengkang konvensional, Igbal dkk (2013).

Penulangan geser balok adalah usaha menyediakan sejumlah tulangan baja untuk menahan gaya tarik arah tegak lurus terhadap retak tarik diagonal pada balok sedemikian rupa sehingga mampu mencegah bukaan retak lebih lanjut. Dalam SNI 03-2847-2002, jenis tulangan geser terdiri dari: Sengkang yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur, Sengkang yang membuat sudut

45o atau lebih terhadap tulangan tarik longitudinal, Jaring kawat baja las dengan kawat-kawat yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur, Tulangan longitudinal dengan bagian yang ditekuk untuk mendapatkan sudut sebesar 30o atau lebih terhadap tulangan tarik longitudinal , kombinasi dari sengkang dan tulangan longitudinal yang ditekuk, spiral, sengkang ikat bundar atau persegi,Krisnamurti (2017)

Perilaku balok beton bertulang pada keadaan runtuh karena geser sangat berbeda dengan keruntuhan karena lentur. Balok tersebut langsung hancur tanpa adanya peringatan terlebih dahulu. Retak diagonal dari geser jauh lebih lebar dibandingkan dengan retak lentur. Karena perilaku kegagalan getas (*brittle*) ini, perencana harus merancang penampang yang cukup kuat untuk memikul beban geser luar rencana tanpa mencapai kapasitas gesernya,Nawy (1990).

Tulangan sengkang konvensional yang telah dikenal selama ini dalam konsep perhitungannya dengan memperhitungkan bahwa bagian tulangan sengkang yang berfungsi menahan beban geser adalah bagian tulangan sengkang pada arah vertikal (tegak lurus terhadap sumbu batang balok). Hal ini dikarenakan perilaku beban geser balok akan menyebabkan terjadinya keretakan geser. Keretakan geser akan menyebabkan terbelah-nya balok menjadi dua bagian yang dipisahkan oleh garis keretakan geser tersebut, yaitu bagian bawah retak geser dan bagian atas retak geser,Igbal dkk (2013).

Untuk menganalisa seberapa besar perbedaan nilai kuat geser pada jarak sengkang yang berbeda, apakah tiap jarak sengkang yang berbeda jaraknya sangat berpengaruh pada nilai kuat geser balok tersebut atau tidak. Maka perlu di teliti

dengan beberapa variasi jarak sengkang. Yaitu dengan membedakan jaraknya pada tiap percobaan.

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud penelitian ini adalah untuk menganalisa tentang kuat geser pada balok beton bertulang pada variasi jarak sengkang konvensional dan tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui perbandingan nilai kuat geser pada tiap jarak sengkang yang berbeda.

1.3 Rumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi topik utama dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Seberapa besar pengaruh jarak sengkang terhadap kuat geser balok beton bertulang dengan variasi jarak sengkang yang berbeda.
2. Seberapa besar perbedaan kuat geser pada balok beton bertulang dengan variasi jarak tulangan sengkang konvensional.

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 dan seberapa besar perbedaan kuat geser balok beton bertulang dengan variasi jarak tulangan sengkang konvensional.

1.5 Metode Pengambilan Data

Penelitian ini dilakukan menggunakan data primer, yaitu data yang didapat langsung dari lapangan dan dilaksanakan pada laboratorium teknik sipil Universitas Medan Area, untuk mendukung data primer diperlukan data skunder yaitu buku dan jurnal yang berhubungan dengan penelitian ini.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis (portlan semen), agregat kasar, agregat halus air dan bahan tambah (admixture atau additive). Untuk mengetahui dan mempelajari perilaku elemen gabungan (bahan-bahan penyusun beton), kita memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik masing-masing komponen, Nawy (1985) mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya. Dengan demikian, masing-masing komponen tersebut perlu dipelajari sebelum mempelajari beton secara keseluruhan. Perencana dapat mengembangkan pemilihan material yang layak komposisinya sehingga diperoleh beton yang efisien, memenuhi kekuatan batas yang disyaratkan oleh perencana dan memenuhi persyaratan serviceability yang dapat diartikan juga sebagai pelayanan yang handal dengan memenuhi kriteria ekonomi.

Dalam usaha memenuhi karakteristik bahan penyusun campuran beton sebagai dasar perancangan beton, Departemen Perkerjaan Umum melalui LPMB banyak mempublikasikan standar-standar yang berlaku. DPU-LPMB memberikan definisi tentang beton sebagai campuran antara semen Portland atau semen hidrolis yang lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan membentuk massa padat (SK.SNI T-15-1990-03:1).

Masalah yang dihadapi oleh seorang perencana adalah bagaimana merencanakan komposisi dari bahan-bahan penyusun beton tersebut agar dapat

memenuhi spesifikasi teknik yang ditentukan (sesuai dengan spesifikasi teknik dalam kontrak atau permintaan pemilik).

Parameter-parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton adalah :

1. Kualitas Semen, 2. Proporsi semen terhadap campuran, 3. Kekuatan dan kebersihan agregat, 4. Interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat, 5. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton, 6. Penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton, 7. Perawatan beton, 8. Kandungan klorida tidak melebihi 0,15% dalam beton yang diekspos dan 1 % bagi beton yang tidak diekspos, Nawy (1985)

Disamping kualitas bahan penyusunnya, kualitas pelaksanaan pun menjadi penting dalam pembuatan beton. Kualitas pekerjaan suatu konstruksi sangat dipengaruhi oleh pelaksana pekerjaan beton langsung, seperti disebutkan oleh N.Jackson : *“The quality of the concrete in the structure depends on the workmanship on site”*, Jackson, (1977) serta L.J. Murdock dan K.M.Brock yang mengatakan adalah Kecakapan tenaga kerja adalah salah satu faktor penting dalam produksi suatu bangunan yang bermutu, dan kunci keberhasilan untuk mendapatkan tenaga kerja yang cakap adalah pengetahuan dan daya tarik pada pekerjaan yang sedang dikerjakan, Murdock, (1991).

2.1.1. Kelebihan dan Kekurangan Beton

Dalam keadaan yang mengeras, beton bagaikan batu karang dengan kekuatan tinggi. Dalam keadaan segar, beton dapat diberi bermacam bentuk, sehingga dapat digunakan untuk membentuk seni arsitektur atau semata-mata untuk tujuan dekoratif. Beton juga akan memberikan hasil akhir yang bagus jika

pengolahan akhir dilakukan dengan cara khusus umpunya diekspose agregatnya (agregat yang mempunyai bentuk yang bertekstur seni tinggi diletakkan dibagian luar, sehingga Nampak jelas pada permukaan betonnya). Selain tahan terhadap serangan api seperti yang telah disebutkan diatas, beton juga tahan terhadap serangan korosi. Secara umum kelebihan dan kekurangan beton adalah :

1. Kelebihan

- a. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi
- b. Mampu memikul beban yang berat
- c. Tahan terhadap temperature yang tinggi
- d. Biaya pemeliharaan yang kecil.

2. Kekurangan

- a. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah
- b. pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
- c. Berat
- d. Daya mantul suara yang besar.

Sebagian besar bahan pembuat beton adalah bahan local (kecuali semen Portland atau bahan tambah kimia), sehingga sangat menguntungkan secara ekonomi. Namun, pembuatan beton akan menjadi mahal jika perencana tidak memahami karakteristik bahan-bahan penyusun beton yang harus disesuaikan dengan perilaku struktur yang akan dibuat.

Nilai kuat tekan beton dengan kuat tariknya tidak berbanding lurus. Setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai oleh peningkatan yang kecil dari kuat tariknya. Menurut perkiraan kasar, nilai kuat tarik berkisar antara 9 % - 15 % kuat tekannya. Nilai pastinya sulit diukur. Pendekatan hitungan biasanya

dilakukan dengan menggunakan modulus of rupture, yaitu tegangan tarik beton yang muncul pada saat pengujian tekan beton normal (normal concrete). Kecilnya kuat tarik beton ini merupakan salahsatu kelemahan dari beton biasa. Untuk mengatasinya, beton dikombinasikan dengan tulangan beton dimana baja biasa digunakan sebagai tulangnya. Alasan penggunaan baja sebagai tulangan beton adalah koefisien baja hampir sama dengan koefisien beton. Beton tersebut didefinisikan sebagai beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah yang tidak kurang dari jumlah minimum yang diisyaratkan dalam pedoman perencanaan, dengan atau tanpa pratekan, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja sama dalam menahan gaya yang bekerja (SKBI.1.4.53 1989:4).

Beton dapat juga dicampur dengan bahan lain seperti composite atau bahan lain sesuai dengan perilaku yang akan diberikan terhadap beton tersebut, misalnya beton pra tekan atau beton pra tegang (*pre-stressing*), beton pra-cetak (*pre-cast*). Beton juga dapat digunakan untuk strukur yang memerlukan bahan struktur yang ringan, mialnya beton ringan struktural (SKBI. 1.4.53, 989:5) yaitu beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai massa kering udara yang sesuai dengan syarat seperti yang ditentukan oleh "*Testing Method for Unit Weihgt of Structural Lightweight Concrete*" (ASTM C-567). Beratnya tidak lebih dari 1900 kg/m³.

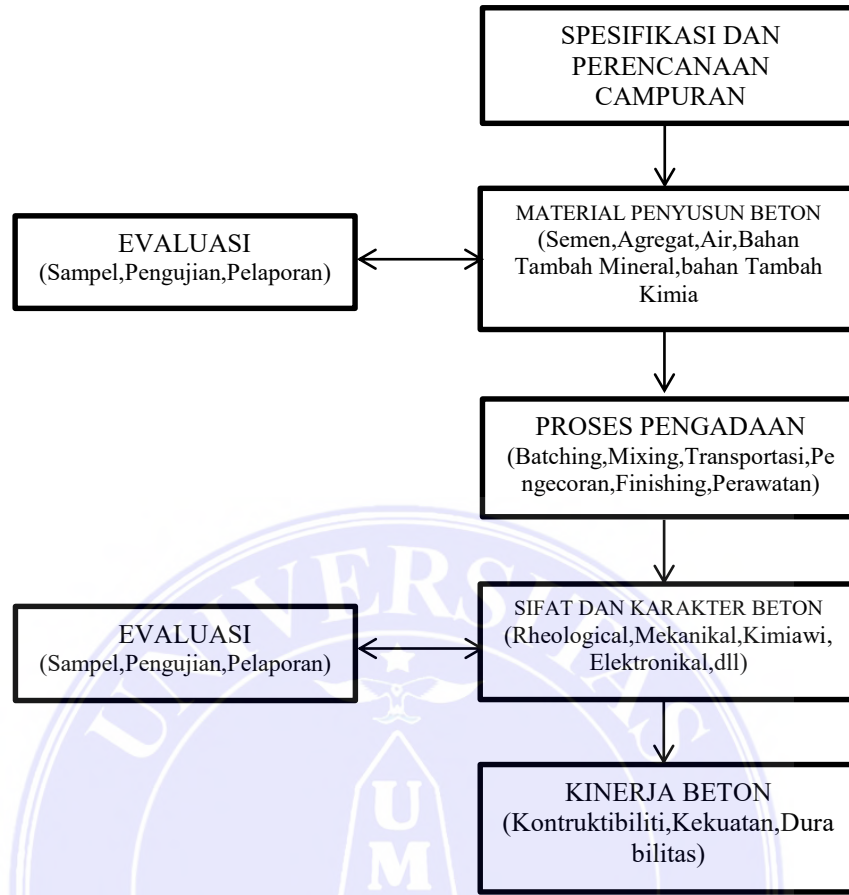
2.1.2. Kinerja Beton

Sampai saat ini beton masih menjadi pilihan utama dalam pembuatan struktur. Selain kemudahan dalam dalam mendapatkan material penyusunnya, hal itu juga disebabkan oleh penggunaan tenaga yang cukup besar sehingga dapat mengurangi masalah penyediaan lapangan kerja. Selain dua kinerja utama yang telah disebutkan diatas, kelangsungan proses pengadaan beton pada proses produksinya juga menjadi salah satu hal yang dipertimbangkan.

Sifat-sifat dan karakteristik material penyusun beton akan mempengaruhi kinerja dari beton yang dibuat. Kinerja beton ini harus disesuaikan dengan kategori bangunan yang dibuat. ASTM membagi bangunan menjadi tiga kategori yaitu: rumah tinggal, perumahan, dan struktur yang menggunakan beton mjuju tinggi.

Menurut SNI T.15-1990-03 beton yang digunakan pada rumah tinggal atau untuk penggunaan beton dengan kekuatan tekan tidak melebihi 10 MPa boleh menggunakan campuran 1 semen: 2 pasir: 3 batu pecah dengan slump untuk mengukur kemudahan pengerjaannya tidak lebih dari 100 mm. pengerjaan beton dengan kekuatan tekan hingga 20 MPa harus menggunakan campuran berat.

Tiga kinerja yang dibutuhkan dalam pembuatan beton adalah (STP 169C, *Concrete and concrete-making materials*): 1). Memenuhi kriteria kontruksi yaitu dapat dengan mudah dikerjakan dan dibentuk serta mempunyai nilai ekonomis. 2). Kekuatan tekan dan 3). Durabilitas atau keawetan.



Gambar 2.1 Proses keseragaman pembuatan beton
(Sumber: STP 169C, Concrete and Concrete-Making Materials, p.32)

Kinerja yang dihasilkan pada proses pengadaan beton haruslah seragam. Secara umum, prosedur untuk mendapatkan kinerja yang seragam pada pengecoran beton dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 2.1 (Fiorato., Anthony E, 1994:32). Survei yang dilakukan ASTM mengenai pengaruh bahan-bahan yang digunakan terhadap kinerja beton dilakukan pada 27 responden. Kriteria penilaian variable menggunakan skala 1-10, dimana 10 merupakan pengaruh tertinggi terhadap kinerja yang dihasilkan.

2.2 Kekuatan Beton dan Tulangan

2.2.1 Kekuatan Beton

1. Kuat tekan beton.

Karena sifat utama dari beton adalah sangat kuat jika menerima beban tekan, maka mutu beton pada umumnya hanya ditinjau terhadap kuat tekan beton tersebut. Sifat yang lain (misalnya: kuat tarik, modulus elastisitas beton) dapat dikorelasikan terhadap kuat tekan beton. Menurut peraturan beton di Indonesia (PBI-1971, diperbaiki dengan SK SNI T-15-1991-03 dan SNI 03-2847-2002), kuat tekan beton diberi notasi dengan F_c' , yaitu kuat tekan silinder beton yang disyaratkan pada waktu berumur 28 hari.

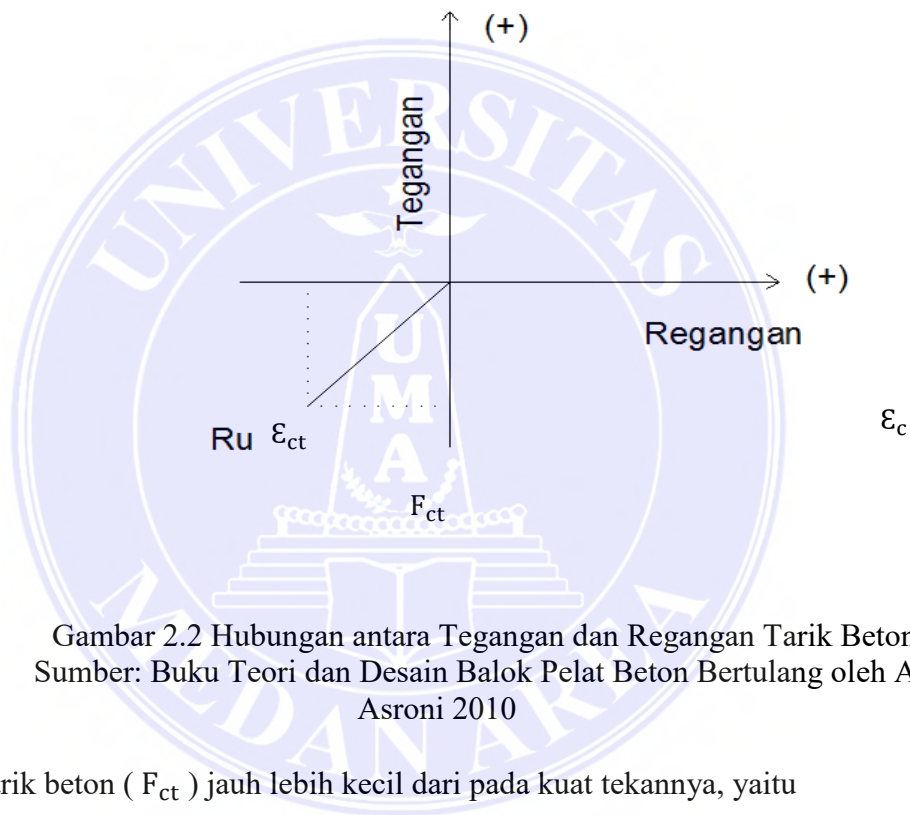
Mutu beton dibedakan atas 3 macam menurut kuat tekannya, yaitu:

1. Mutu beton dengan F_c' kurang dari 10 Mpa, digunakan untuk beton non struktur (misalnya: kolom praktis, balok praktis).
2. Mutu beton dengan F_c' antara 10 Mpa sampai 20 Mpa, digunakan untuk beton struktur (misalnya: balok, kolom, pelat, maupun fondasi).
3. Mutu beton dengan F_c' sebesar 20 Mpa keatas digunakan untuk struktur beton yang direncanakan tahan gempa.

Untuk pengujian kuat tekan beton, benda uji berupa silinder beton berdiameter 15 cm dan tingginya 30 cm ditekan dengan beban P sampai runtuh, karena ada beban tekan P , maka terjadi tegangan tekan pada beton.

2. Kuat tarik beton.

Perilaku beton saat diberikan beban aksial tarik agak sedikit berbeda dengan perilakunya pada saat diberikan beban tekan. Hubungan antara tegangan dan regangan tarik beton umumnya bersifat linear sampai terjadinya retak yang biasanya langsung diikuti oleh keruntuhan beton, seperti digambarkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Hubungan antara Tegangan dan Regangan Tarik Beton
 Sumber: Buku Teori dan Desain Balok Pelat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2010

Kuat tarik beton (F_{ct}) jauh lebih kecil dari pada kuat tekannya, yaitu

$$F_{ct} = 10 \% \cdot F_c'$$

Menurut pasal 13.4.2.2 SNI 03-2847-2002, hubungan antara kuat tarik langsung

F_{cr} terhadap kuat tekan beton F_c' dinyatakan dengan rumus berikut:

$$F_{cr} = 0,33 \cdot \sqrt{f_c'}$$

2.2.2 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 ϕ 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
D32	32	6,313
D36	36	7,990

Sumber: Buku Teori dan Desain Balok Pelat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2010

Yang disebut dengan diameter nominal tulangan ulir adalah ukuran diameter dari tulangan ulir tersebut yang disamakan dengan diameter tulangan polos dengan syarat kedua tulangan (ulir dan polos) berat persatuan panjang sama.

2.3 Balok

Balok dapat didefinisikan sebagai salah satu dari elemen struktur portal yang arahnya horizontal, sedangkan portal merupakan kerangka utama dari struktur bangunan, khususnya bangunan gedung. Portal digambarkan dalam bentuk garis-garis horizontal (disebut: balok) dan vertikal (disebut: kolom) yang saling bertemu/berpotongan pada titik buhul (joint), biasanya pada perencanaan portal dengan bahan beton bertulang, ujung kolom bagian bawah dari portal tersebut bertumpu/tertanam kuat pada pondasi dan dapat di anggap/direncanakan sebagai perletakan jepit ataupun sendi.

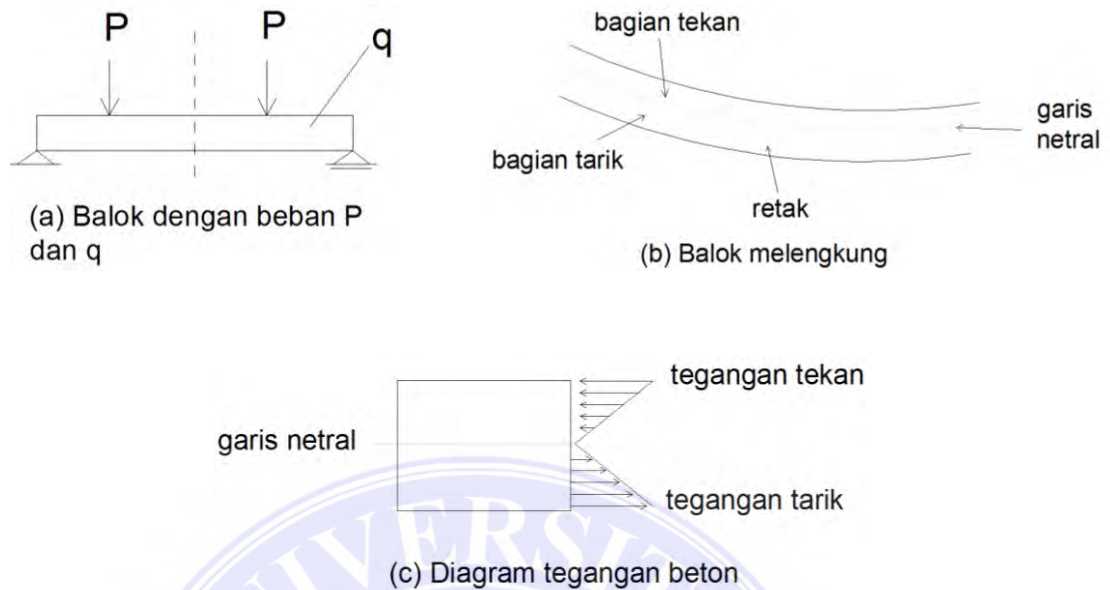
Beban yang bekerja pada balok biasanya berupa beban lentur, beban geser maupun torsi (momen puntir), sehingga perlu baja tulangan untuk menahan beban-beban tersebut. Tulangan ini berupa tulangan memanjang atau tulang longitudinal (yang menahan beban lentur) serta tulangan geser/begel (yang menahan beban geser/torsi).

2.3.1 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 2.3.(a) dan Gambar 2.3.(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 2.3.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.

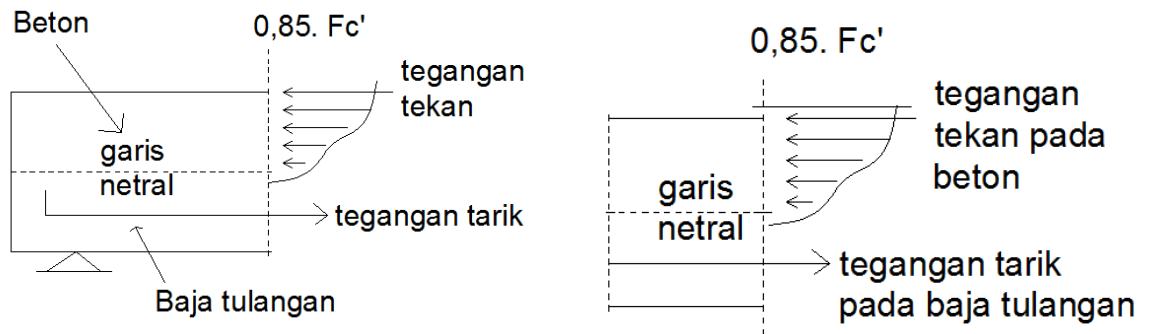


Gambar 2.3 Balok Beton Tanpa Tulangan
 Sumber: Buku Teori dan Desain Plat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2010

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.

2.3.2 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 2.4.



(a) Elemen balok beton bertulang (b) Distribusi tegangan pada penampang retak

Gambar 2.4 Balok Beton Bertulang

Sumber: Buku Teori dan Desain Plat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2010

Karena sifat beton yang tidak kuat terhadap tarik, maka pada gambar 2.3(b) tampak bahwa bagian balok yang menahan tarik (dibawah garis netral) akan ditahan oleh tulangan, sedangkan bagian yang menahan tekan (diatas garis netral) tetap ditahan oleh beton.

2.3.3. Fungsi Utama Beton dan Tulangan

Beton maupun baja tulangan pada struktur beton bertulang tersebut mempunyai fungsi atau tugas pokok yang berbeda, sesuai dengan sifat bahan yang bersangkutan.

Fungsi utama dari beton, yaitu untuk:

- 1). Menahan beban/gaya tekan.
- 2). Menutup baja tulangan agar tidak berkarat.

Sedangkan fungsi utama dari baja tulangan, yaitu untuk:

- 1). Menahan gaya tarik (meskipun juga kuat terhadap gaya tekan).
- 2). Mencegah retak beton agar tidak melebar.

2.3.4 Pola Retak Pada Balok

Retak merupakan jenis kerusakan yang paling sering terjadi pada struktur beton, dimana terjadi pemisahan antara massa beton yang relatif panjang dengan yang sempit. Secara visual retak nampak seperti garis. Retak pada struktur beton terjadi sebelum beton mengeras maupun setelah beton mengeras. Retak akan terjadi saat beton mulai mengeras tapi telah dibebani, beton mengeras pada musim dingin, susut (*shrinkage*), penurunan (*settlement*) dan penurunan acuan (*formwork*).

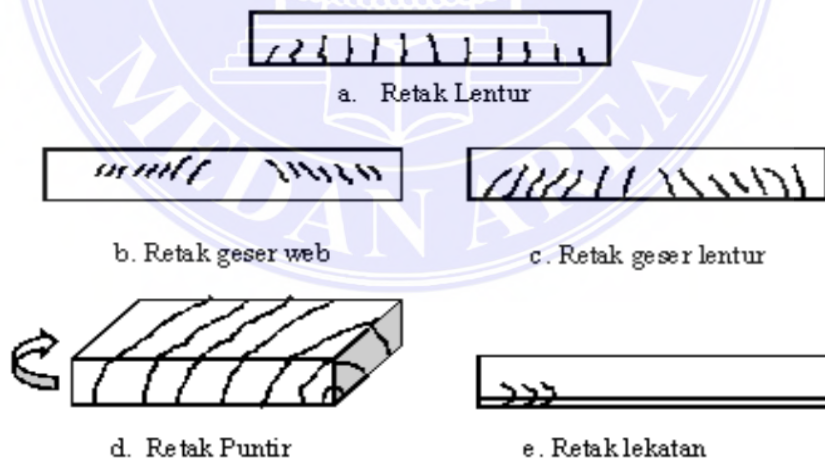
Retak struktural adalah retak yang terjadi setelah beton mengeras, terjadi karena adanya pembebanan yang mengakibatkan timbulnya tegangan lentur, tegangan geser dan tegangan tarik. Meskipun retak tidak dapat dicegah, namun ukurannya dapat dibatasi dengan cara menyebar atau mendistribusikan tulangan. Apabila struktur dibebani dengan suatu beban yang menimbulkan momen lentur masih lebih kecil dari momen retak maka tegangan yang timbul masih lebih kecil dari modulus of rupture beton $f_r = 0,70 \sqrt{f'_c}$ ($7,5 \sqrt{f'_c}$ psi).

Bila beban ditambah sehingga tegangan tarik mencapai f_r , maka retak kecil akan terjadi. Apabila tegangan tarik sudah lebih besar dari f_r , maka penampang akan retak. Ada tiga kasus yang dipertimbangkan dalam masalah retak yaitu:

Ketika tegangan tarik $f_t > f_r$, maka penampang dipertimbangkan untuk tidak terjadi retak. Untuk kasus ini $I_g = 1/12 b.h^3$.

Ketika tegangan tarik $f_t = f_r$, maka retak mulai timbul. Momen yang timbul disebut momen retak dan dihitung sebagai berikut : $M_{cr} = (f_r I_g)/c$, dimana $c = h/2$.

Apabila momen yang bekerja sudah lebih besar dari momen retak, maka retak penampang sudah meluas. Untuk perhitungan digunakan momen inersia retak (I_{cr}), transformasi balok beton yang tertekan dan transformasi dari tulangan n.As. Pada dasarnya ada tiga jenis keretakan pada balok, (Gilbert, 1990) : Retak lentur (*flexural crack*), terjadi di daerah yang mempunyai harga momen lentur lebih besar dan gaya geser kecil. Arah retak terjadi hampir tegak lurus pada sumbu balok lihat gambar 2.5.



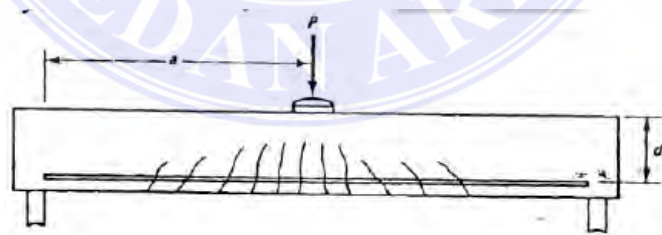
Gambar 2.5 Retak pada balok

Sumber : Amelia Checea, 2017. Studi Perbandingan Pola Retak Pada Beton Normal dan Beton Dengan Sambungan Model Tarik Akibat Beban Siklik Lateral.

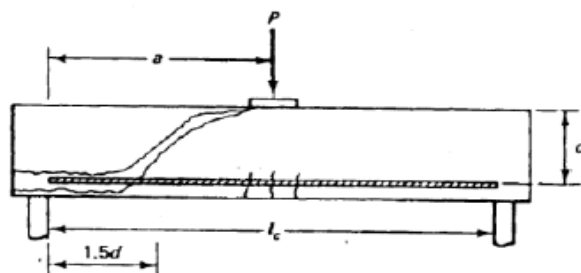
2.3.5 Geser Pada Balok

Perilaku balok beton bertulang pada keadaan runtuh karena geser sangat berbeda dengan keruntuhan karena lentur. Balok tersebut langsung hancur tanpa adanya peringatan terlebih dahulu. Retak diagonal dari geser jauh lebih lebar dibandingkan dengan retak lentur. Karena perilaku kegagalan getas (*brittle*) ini, perencana harus merancang penampang yang cukup kuat untuk memikul beban geser luar rencana tanpa mencapai kapasitas gesernya, Nawy (1990).

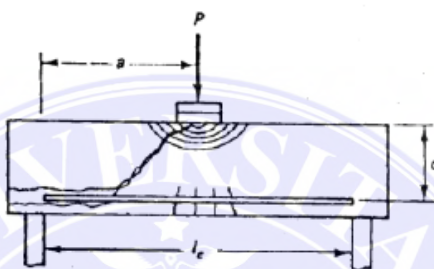
Kelangsingan balok, yaitu perbandingan antara bentang bersih dengan tinggi balok menentukan ragam keruntuhan balok. Gambar 8 memperlihatkan pola keruntuhan secara skematis. Bentang geser a untuk beban terpusat adalah jarak antara titik tangkap beban tersebut dengan muka perletakan. Pada dasarnya dapat terjadi tiga ragam keruntuhan atau kombinasinya, yaitu gambar 2.6.(a) keruntuhan lentur, 2.6.(b) keruntuhan tarik diagonal, dan 2.6.(c) keruntuhan tekan akibat geser. Semakin langsing balok tersebut, kecenderungan ragam keruntuhan adalah lentur, seperti yang terlihat pada pembahasan di bawah ini (Nawy, 1990):



(a) keruntuhan lentur



(b) keruntuhan tarik diagonal



(c) keruntuhan tekan akibat geser

Gambar 2.6. Ragam keruntuhan sebagai fungsi dari kelangsingan balok (Nawy, 1990)

Sumber: Suhad Susanto, Balok Beton Bertulang Eksternal.

Tabel 2.2 di bawah ini memberikan ringkasan mengenai pengaruh angka kelangsingan balok dengan ragam keruntuhannya:

Tabel 2.2. Pengaruh kelangsingan balok terhadap ragam keruntuhan

Kategori balok	Ragam keruntuhan	Perbandingan bentang geser dengan tinggi sebagai ukuran dari kelangsingan	
		Beban terpusat, a/d	Beban distribusi, lc/d
langsing	Lentur (F)	$>5,5$	>16
sedang	Tarik diagonal (DT)	$2,5 - 5,5$	$11 - 16^b$
tinggi	Tekan geser (SC)	$1 - 2,5$	$1 - 5^b$

Sumber: Nawy (1990)

Perencanaan penampang terhadap geser di dalam SNI 03-2847-2002 Pasal 13.1.1:

$$\phi V_n \geq V_u \quad \text{persamaan (2.1)}$$

Peraturan mengharuskan untuk selalu menyediakan penulangan geser minimal pada semua bagian struktur beton yang mengalami lenturan (meskipun menurut perhitungan tidak memerlukan). V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau ($V_u = \phi V_n$) dan ϕV_n adalah kekuatan geser yang tersedia, yang dihitung dari:

$$V_n = V_c + V_s \quad \text{persamaan (2.2)}$$

Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton (V_c) dan kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (V_s).

$$V_c = \left(\sqrt{\frac{FC'}{6}} \right) b.d \quad \text{persamaan (2.3)}$$

Bila gaya geser terfaktor $V_u \geq \phi V_n$, maka harus disediakan tulangan geser dengan gaya yang harus ditahan oleh sengkang sebesar:

$$V_s = V_n - V_c \quad \text{persamaan (2.4)}$$

$$V_s = \frac{vu}{\phi} - V_c \quad \text{persamaan (2.5)}$$

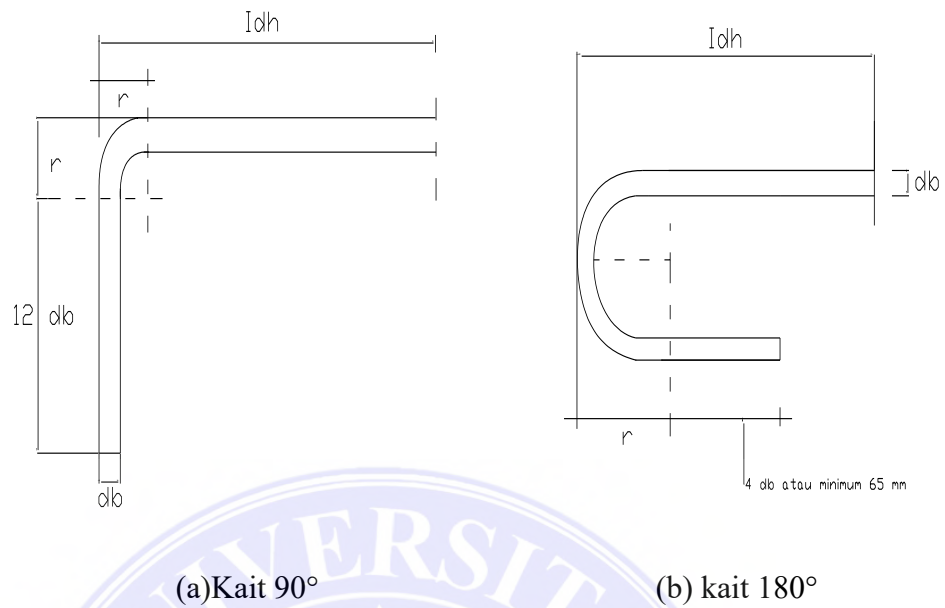
Bila digunakan tulangan geser yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur, maka:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad \text{persamaan (2.6)}$$

A_v adalah luas tulangan yang berada dalam rentang jarak s .

2.4 Kait (Angkur) 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 l_{dh} . Bentuk kait standar yang biasa digunakan pada struktur beton ada 2 macam, yaitu kait 90° dan kait 180° seperti terlukis pada gambar 2.7.



(a) Kait 90°

(b) kait 180°

Gambar 2.7 Kait tulangan Standar

Sumber : Buku Teori dan Desain Balok Plat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2010

Pada Gambar 2.5, 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 Kekuatan Beton Bertulang

2.5.1. Jenis Kekuatan

Menurut SNI 03-2847-2002, pada perhitungan struktur beton bertulang, ada beberapa istilah untuk menyatakan kekuatan suatu penampang sebagai berikut:

- 1) Kuat nominal (pasal 3.28)
- 2) Kuat rencana (pasal 3.30)
- 3) Kuat perlu (pasal 3.29)

Kuat nominal (R_n) diartikan sebagai kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi metode perencanaan sebelum dikalikan dengan nilai faktor reduksi kekuatan yang sesuai. Pada penampang beton bertulang, nilai kuat nominal bergantung pada dimensi penampang, jumlah dan letak tulangan, serta mutu beton dan baja tulangan. Jadi pada dasarnya kuat nominal ini adalah hasil hitungan kekuatan yang sebenarnya dari keadaan struktur beton bertulang pada keadaan normal. Kuat nominal ini biasanya ditulis dengan simbol M_n , V_n , T_n , dan P_n , dengan subscript n menunjukkan bahwa nilai-nilai momen M , gaya geser V , torsi (momen puntir) T , dan gaya aksial P diperoleh dari beban nominal suatu struktur atau komponen struktur.

Kuat rencana (R_r) diartikan sebagai kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperoleh dari hasil perkalian antara kuat nominal R_n dan faktor reduksi kekuatan ϕ . Kuat rencana ini juga dapat ditulis dengan simbol-simbol M_r , V_r , T_r , dan P_r , dengan subscript r menunjukkan bahwa nilai-nilai momen M , gaya geser V , torsi (momen puntir) T , dan gaya aksial P di peroleh dari beban rencana yang boleh bekerja pada suatu struktur atau komponrn struktur.

Kuat perlu (R_u) diartikan sebagai kekuatan suatukomponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya

dalam yang berkaitan dengan beban tersebut dalam suatu kombinasi beban U. Kuat perlu juga biasa ditulis dengan simbol-simbol μ , V_u , dan P_u , dengan subscript u diperoleh dari beban terfaktor U.

Karena pada dasarnya kuat rencana R_r , merupakan kekuatan gaya dalam (berada didalam struktur), sedangkan kuat perlu R_u merupakan kekuatan gaya luar (diluar struktur) yang bekerja pada struktur, maka agar perencanaan struktur dapat dijamin keamanannya harus dipenuhi syarat berikut:

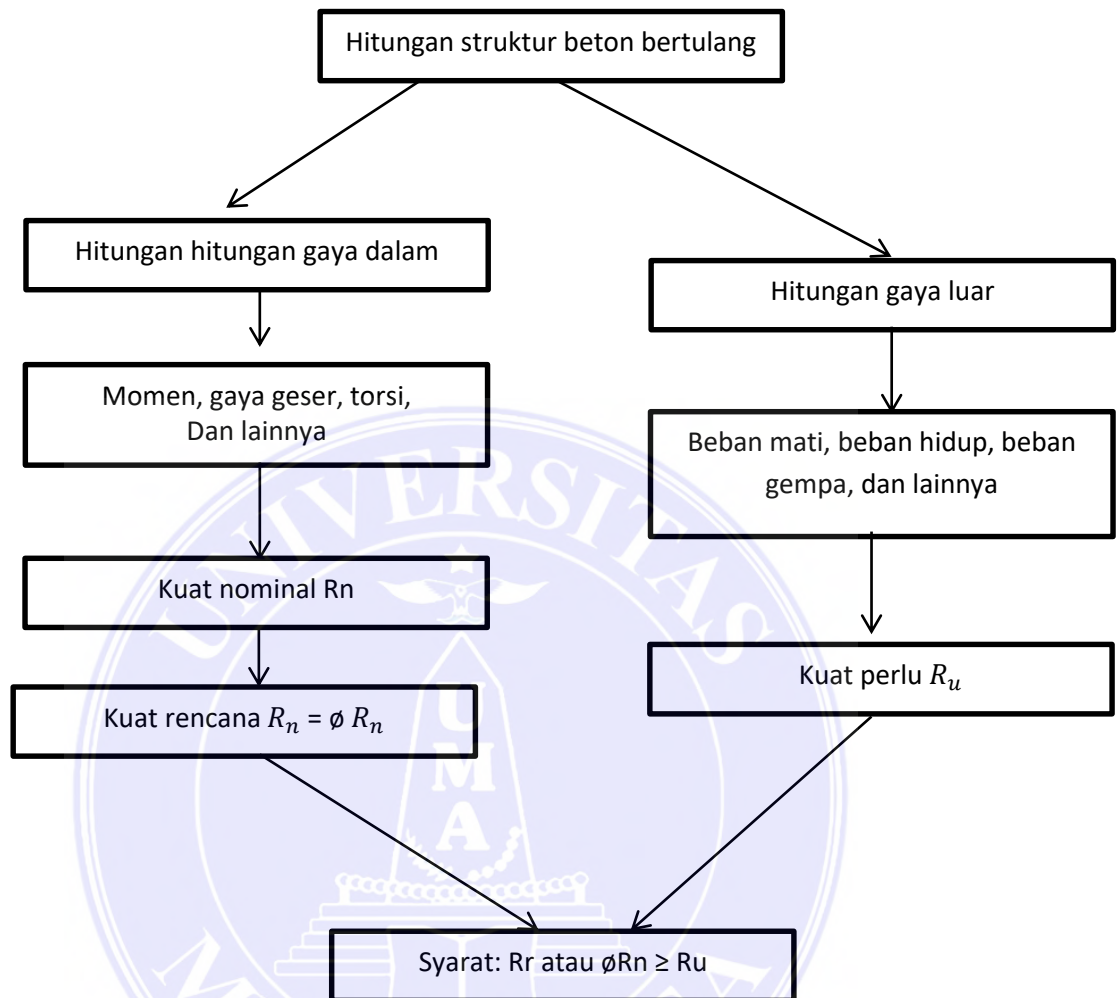
Kuat rencana R_r harus \geq kuat perlu R_u .

2.5.2 Prinsip Hitungan Struktur Beton Bertulang

Hitungan struktur beton bertulang pada dasarnya meliputi 2 buah hitungan, yaitu hitungan yang berkaitan dengan gaya luar dan hitungan yang berkaitan dengan gaya dalam.

Pada hitungan dari gaya luar, maka harus disertai dengan faktor keamanan yang disebut faktor beban sehingga diperoleh kuat perlu R_u . Sedangkan pada hitungan dari gaya dalam, maka disertai dengan faktor aman yang disebut faktor reduksi kekuatan ϕ sehingga diperoleh kuat rencana $R_r = \phi R_n$. Selanjutnya, agar struktur mampu memikul beban dari luar yang bekerja pada struktur tersebut, maka harus dipenuhi syarat bahwa kuat rencana $R_r = \phi R_n$ minimal sama dengan kuat perlu R_u .

Prinsip hitungan struktur beton bertulang yang menyangkut gaya luar dan gaya dalam tersebut secara jelas dapat dilukiskan dalam bentuk skematis, seperti tampak pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Skema Dasar Hitungan Beton Bertulang
Sumber: Buku Pelat Beton Bertulang Ali Asroni 2010

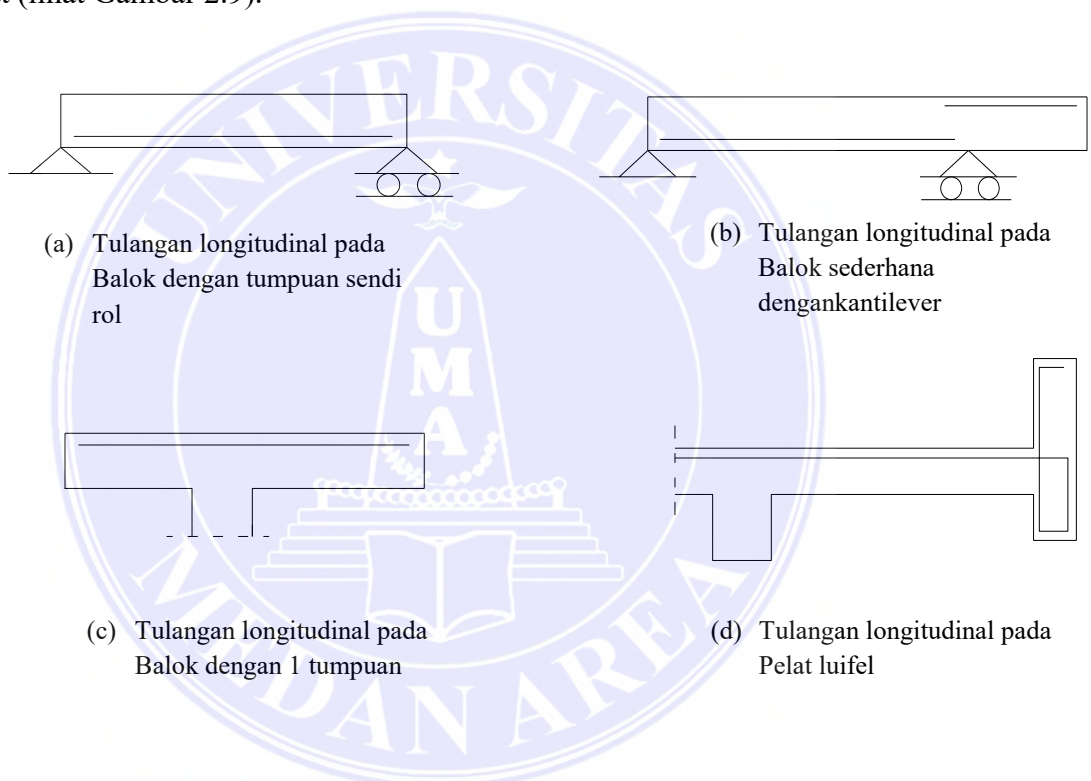
2.6 Pemasangan Tulangan

2.6.1. 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 2.9).



Gambar 2.9 Contoh pemasangan tulangan longitudinal pada balok dan plat
 Sumber: Buku Teori dan Desain Plat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2010

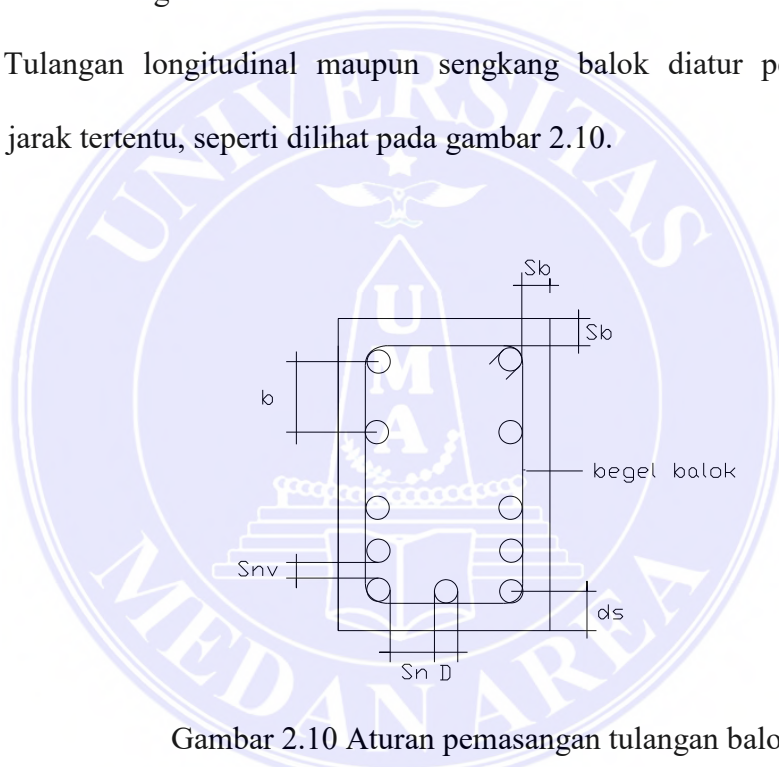
2.6.2. Pemasangan Tulangan Geser

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.

2.6.3 Jarak Tulangan Pada Balok

Tulangan longitudinal maupun sengkang balok diatur pemasangannya dengan jarak tertentu, seperti dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Aturan pemasangan tulangan balok

Sumber: Buku Teori dan Desain Plat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2010

Keterangan Gambar 2.7 :

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 $S_{bm} = 40 \text{ mm}$

b = jarak maksimum (as-as) tulangan samping (3.3.6.7 SK SNI T-15-1991-03), diambil $\leq 300 \text{ mm}$ 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 $\geq 25 \text{ mm}$, dan $\geq D$.

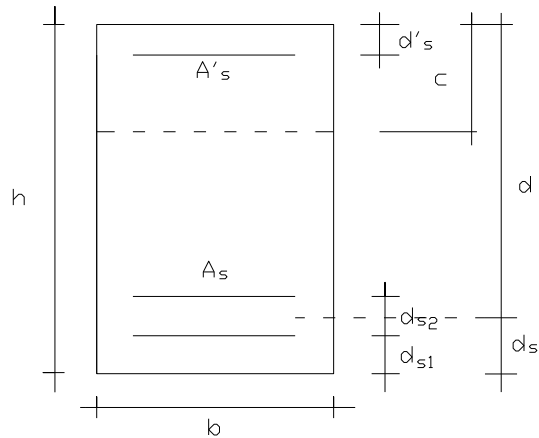
S_n = jarak bersih tulangan pada arah mendatar (Pasal 7.6.1 SNI 2847-2013) diambil $\geq 25 \text{ mm}$, dan $\geq D$, dan disarankan $4/3 \phi_{agregat \text{ maks}}$, untuk memudahkan pengecoran (agar kerikil dapat memasuki celah tulangan).

D = diameter tulangan longitudinal, mm.

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

2.6.4 Jumlah Tulangan Maksimum dalam Satu 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 2.11). Sebagai contoh dimensi balok ditulis dengan b/h atau $150/150$, berarti penampang dari balok tersebut berukuran lebar balok $b = 150 \text{ mm}$ dan tinggi balok $h = 150 \text{ mm}$.



Gambar 2.11 Penampang dan notasi balok

Sumber: Buku Teori dan Desain Plat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2010

Keterangan Gambar 2.11:

- A_s = luas tulangan tarik, mm^2
- $A's$ = luas tulangan tekan, 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:

$$m = \frac{b-ds}{Sn+D} + 1 \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan:

m = jumlah tulangan maksimum yang dapat dipasang pada 1 baris.

Sn = jarak bersih tulangan pada arah mendatar (Pasal 7.6.1 SNI 2847-2013) diambil ≥ 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.

b = lebar penampang balok, mm

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

2.7 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.

2.8 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 2.3;

Tabel 2.3 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.

2.9 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 2.4.

Tabel 2.4. 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 2010

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 $0.4 - 0.6 H_{min}$.

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

$$d = H_{min} - \text{tebal selimut beton} \dots \dots \dots (2.8)$$

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:

$$d_s = S_b + \phi_{\text{sengkang}} + 1/2D \dots \dots \dots (2.9)$$

$$d = H - d_s \dots \dots \dots (2.10)$$

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:

$$m = \frac{b-d_s}{S_n+D} + 1 \dots \dots \dots (2.11)$$

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

$$M_u = 1/8 q l^2 \dots \dots \dots (2.12)$$

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

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} \dots \dots \dots (2.13)$$

Catatan : 0.85 pada persamaan di atas bukan nilai ϕ , juga bukan β_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 mm^2 , dengan rumus sebagai berikut:

$$A_s = \frac{0,85 F_c a b}{f_y} \dots\dots\dots(2.14)$$

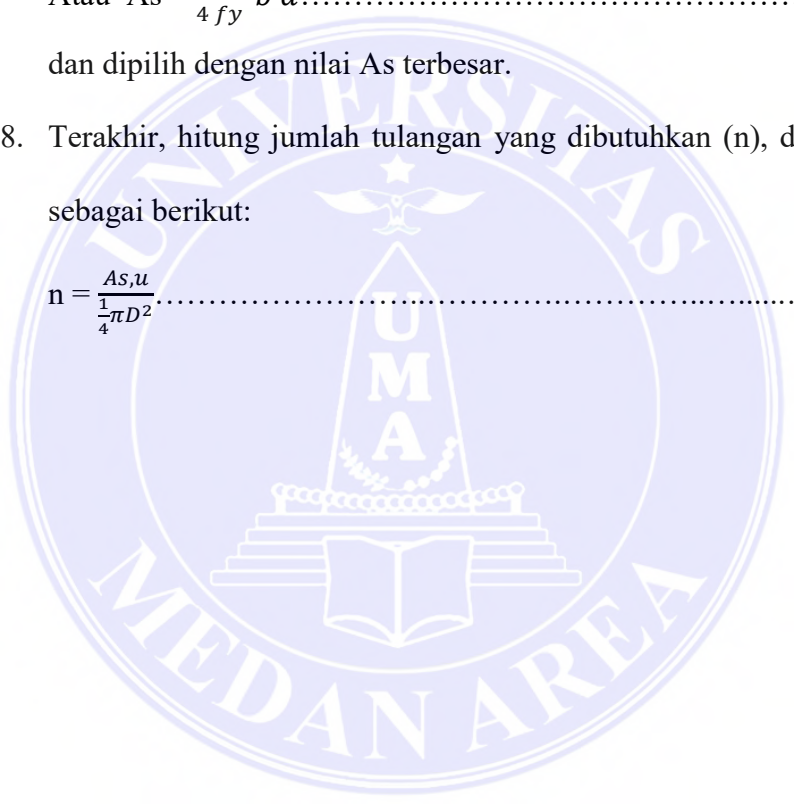
$$A_s = \frac{1,4}{f_y} b d \dots\dots\dots(2.15)$$

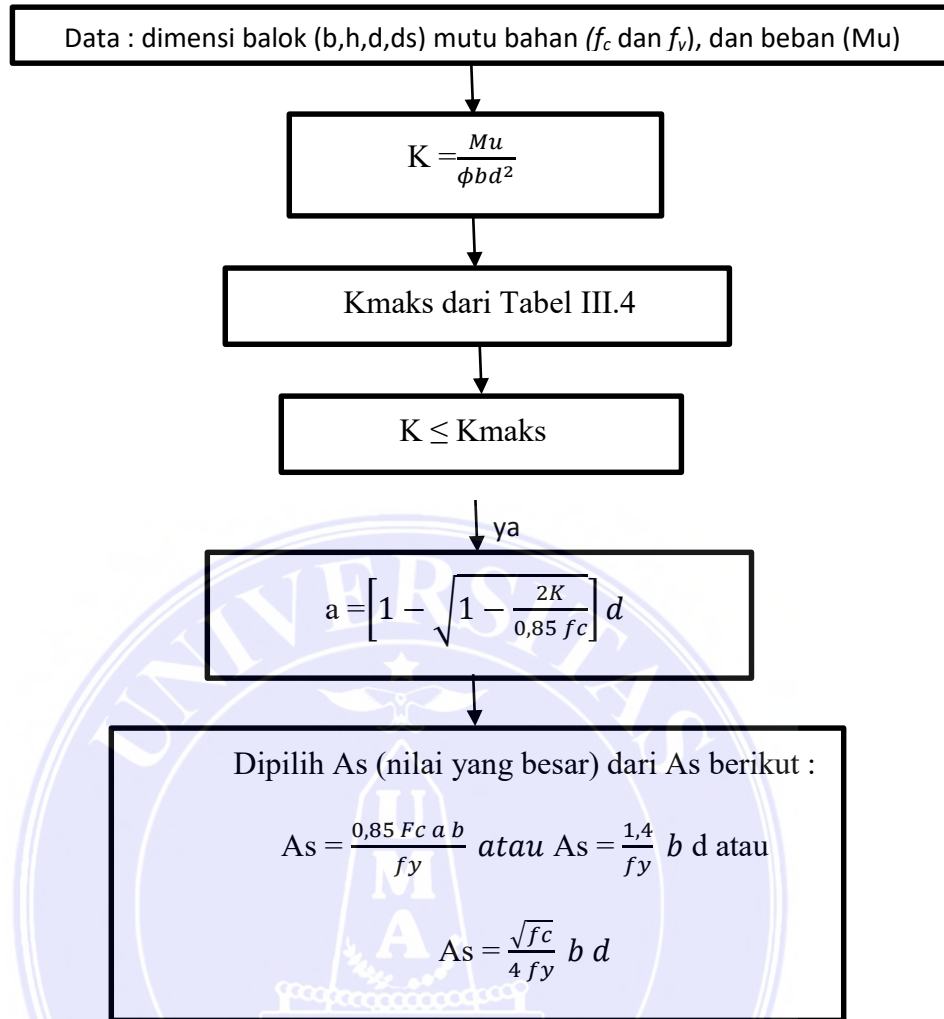
$$\text{Atau } A_s = \frac{\sqrt{f_c}}{4 f_y} b d \dots\dots\dots(2.16)$$

dan dipilih dengan nilai A_s terbesar.

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

$$n = \frac{A_s, u}{\frac{1}{4} \pi D^2} \dots\dots\dots(2.17)$$





Gambar 2.12 Skema hitungan tulangan Longitudinal Balok (Penampang Balok dengan Tulangan Tunggal)

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

2.10. 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 σ_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 σ'_a (kg/cm^2)	
	Pembebanan Tetap	Pembebanan Sementara
U ₂₂	1.250	1.800
U ₂₄	1.400	2.000
U ₃₂	1.850	2.650
U ₃₉	2.250	3.200
U ₄₈	2.750	4.000
U _{umum}	$0,58 \sigma_{au}$	$0,83 \sigma_{au}$ 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 kg/cm^2 .

Tabel 2.6 Tegangan tekan dan tarik baja leleh karakteristik.

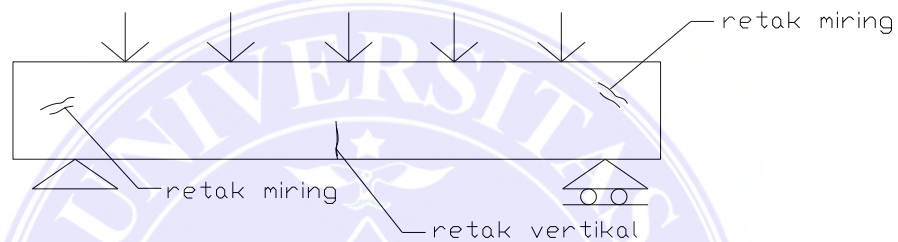
Mutu Baja U	Σ_{au} atau 0,2% ($\sigma_{0,2}$) (kg/cm^2)	Keterangan
U ₂₂	2.200	Baja lunak
U ₂₄	2.400	Baja lunak
U ₃₂	3.200	Baja Sedang
U ₃₉	3.900	Baja Keras
U ₄₈	4.800	Baja Keras

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

2.11 Tulangan Geser Balok

2.11.1 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 2.13 Jenis Retakan Pada Balok
Sumber: Buku Teori dan Desain Balok Pelat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2010

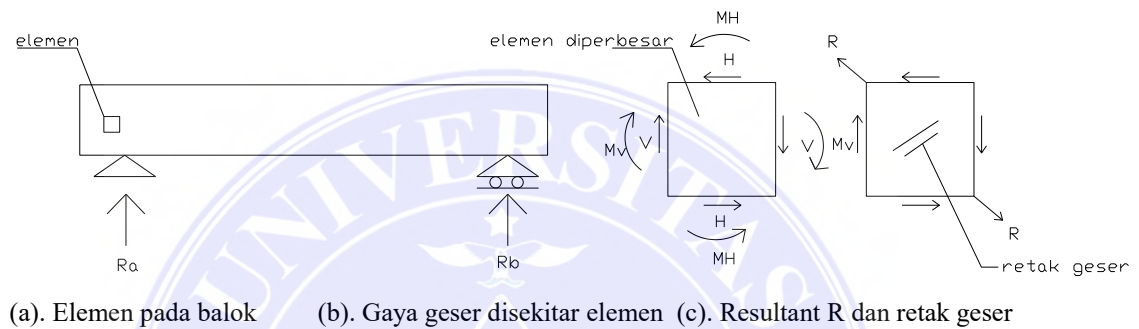
Retak vertikal terjadi akibat kegagalan balok dalam menahan beban lentur, sehingga biasanya terjadi pada daerah lapangan (bentang tengah) balok, karena pada daerah ini timbul momen lentur paling besar. Retak miring terjadi akibat kegagalan balok dalam menahan beban geser, sehingga biasanya terjadi pada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

2.11.2 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 2.14.

Pada gambar 2.14, 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 2.14 Retak balok akibat gaya geser
 Sumber: Buku Teori dan Desain Balok Pelat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

Pada Gambar 2.14 (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°
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° .
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° .

2.12 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.



Sengkang "U"

Sengkang Konvensional

Gambar 2.15 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/mm²)
- 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.

2.12.1 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:

$$V_d = \phi V_n \text{ dan } \phi V_n \geq V_u \dots \dots \dots (2.18)$$

$$V_n = V_c + V_s \dots \dots \dots (2.19)$$

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 Senggang, kN

ϕ = 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.

$$V_{ud} = V_{ut} + \frac{x}{y} (V_u - V_{ut}) \dots \dots \dots (2.20)$$

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

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'c'} b d \dots \dots \dots (2.21)$$

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

$$V_s = (V_u - \phi V_c) / \phi \text{ dengan } \phi = 0,75 \dots \dots \dots (2.22)$$

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

$$V_{smaks} = 0,66 \sqrt{F'c} b d \dots\dots\dots(2.23)$$

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

$$A_{v,u} = V_s S / (F_y d) \dots\dots\dots(2.24)$$

Dengan:

S = Panjang balok 1000 mm,

F_y = Tegangan leleh tulangan.

(b) Pasal 11.4.6.3

$$A_{v,u} = 0,062 \sqrt{F'c} b S / F_y \dots\dots\dots(2.25)$$

(c) Pasal 11.4.6.

$$A_{v,u} = 0,35 b S / F_y \dots\dots\dots(2.26)$$

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

(a) $s = n^{1/4} \pi d p^2 S / A_{v,u} \dots\dots\dots(2.27)$

dengan S = Panjang balok 1000 mm

(b) Pasal 11.4.5.1

Untuk $V_s < 0,33 \sqrt{F'c} b d \dots\dots\dots(2.28)$

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

(c) Pasal 11.4.5.3

Untuk $V_s > 0,33 \sqrt{F'c} b d \dots\dots\dots(2.29)$

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

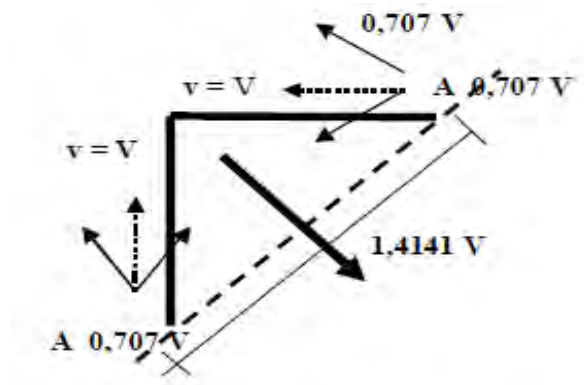
2.12.2 Hitungan Sengkang Balok

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 (ϕV_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.

2.13 Kuat Geser Balok

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 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 2.17).



Gambar 2.16. Tegangan pada balok terlentur
Sumber: Dipohusodo, 1994

Keterangan :

v = tegangan geser

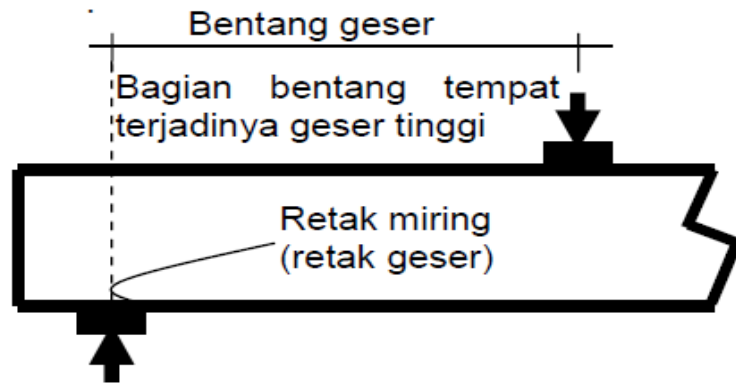
V = gaya geser

T = gaya tarik

$0,707 V$ = Komponen gaya normal terhadap terhadap bidang A – A

T = $1,414 V$

Kejadian geser pada beton tulangan, kerusakan umumnya terjadi di daerah sepanjang kurang lebih tiga kali tinggi efektif balok, dan dinamakan bentang geser. 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.



Gambar 2.17 Retak miring pada balok beton bertulang.
Sumber: Dipohusodo, 1994

2.14 Air

Air merupakan salah satu bahan pokok dalam proses pembuatan beton, peranan air sebagai bahan untuk membuat beton dapat menentukan mutu campuran beton.

2.14.1 Faktor Air Semen

Factor air semen yang diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan didasarkan:

- 1) hubungan kuat tekan dan factor air semen yang diperoleh dari penelitian lapangan sesuai dengan bahan dan kondisi pekerjaan yang diusulkan. Bila tidak tersedia data hasil penelitian sebagai pedoman dapat dipergunakan Tabel 2.7 dan Grafik 2.1 .
- 2) untuk lingkungan khusus, faktor air semen maksimum harus memenuhi SNI 03-1915-1992 tentang spesifikasi beton tahan sulfat dan SNI 03-2914-1994 tentang spesifikasi beton bertulang kedap air.

2.14.2 Kadar Air Bebas

Kadar air bebas ditentukan sebagai berikut:

- 1) agregat tak dipecah dan agregat dipecah digunakan nilai-nilai pada table 2.7 dan grafik 2.1.
- 2) agregat campuran (tak dipecah dan dipecah), dihitung menurut rumus berikut:

$$\frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k$$

Dengan:

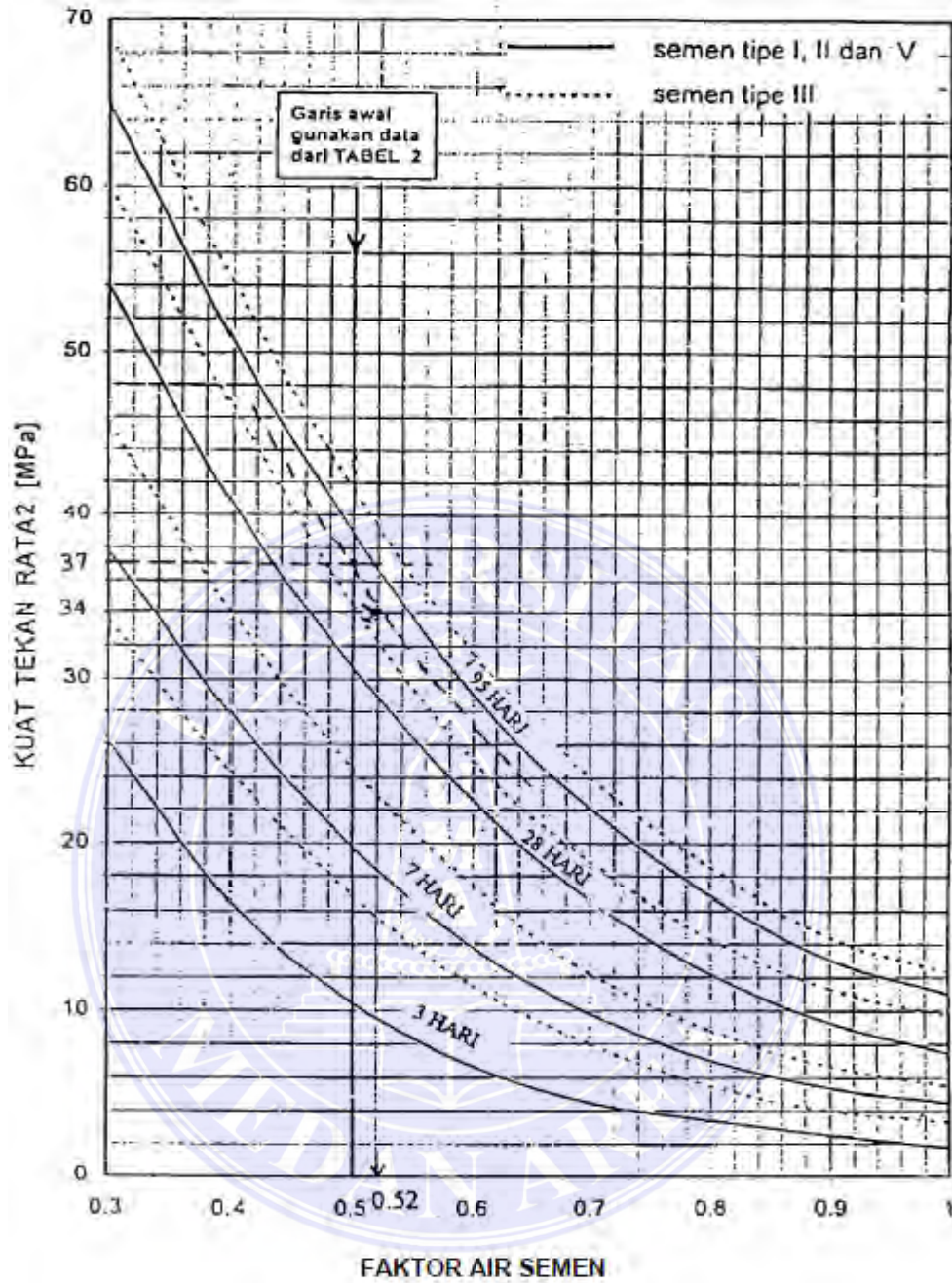
W_h adalah perkiraan jumlah air untuk agregat halus

W_k adalah perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

Tabel 2.7
Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan
Factor air semen, dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia

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

Sumber sni (03-2834-2000)



Grafik 2.1
Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen
(benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)
Sumber sni (03-2834-2000)

Tabel 2.8
Perkiraan kadar air bebas (Kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat
kemudahan pengerjaan adukan beton

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

Sumber sni (03-2834-2000)

Catatan : Koreksi suhu udara :

Untuk suhu di atas 25°C , setiap kenaikan 5°C harus ditambah air 5 liter per m^2 adukan beton.

BAB III

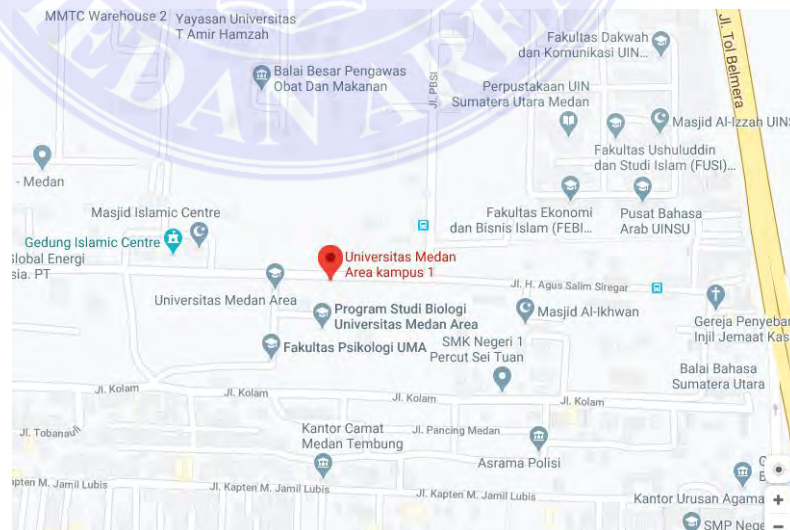
METODE PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum

Metode penelitian dan pengumpulan data akan dilakukan 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.

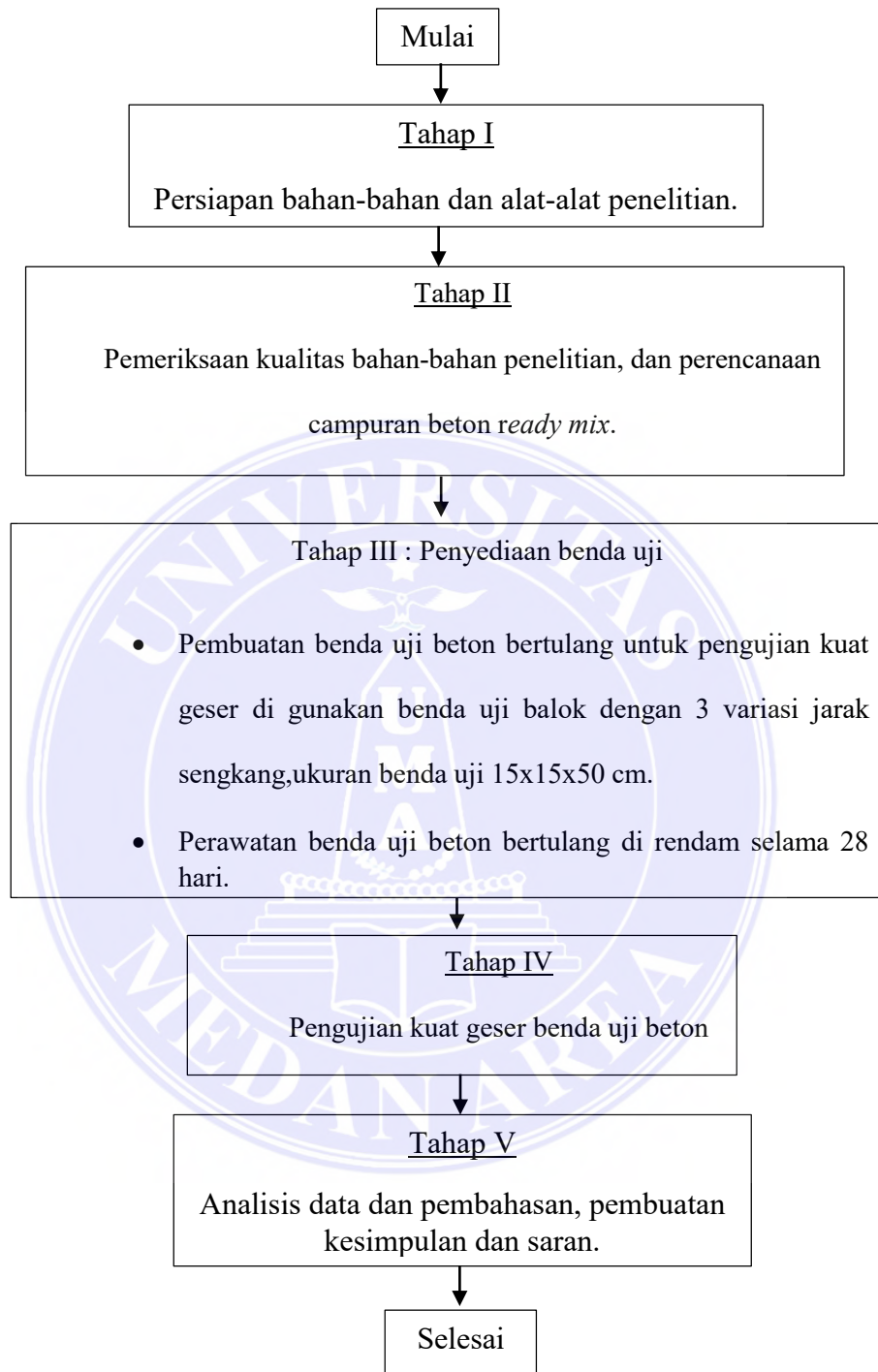
3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan berada di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian.

3.3 Skema Penelitian



Gambar 3.2 Skema penelitian.

3.4 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang dipergunakan antara lain:

1. Semen Merah Putih dengan kondisi semen masih dalam keadaan tertutup rapat.
2. Agregat Halus berupa Pasir Sungai Dari toko bangunan kota Medan.
3. Agregat Kasar Batu guli, Dari toko bangunan kota Medan dengan Diameter rata – rata 20 mm.
4. Air bersih bebas kandungan organik atau air PDAM medan.
5. Tulangan polos D10 dan tulangan sengkang $\phi 6$.
6. Kawat Bendrat untuk mengikat tulangan.
7. Bekisting menggunakan Papan kayu kelapa.

3.5 Peralatan Penelitian

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



Gambar 3.3 Alat uji kuat geser

3.6 Tahapan persiapan

Pada tahap ini seluruh bahan dan peralatan untuk pembuatan benda uji beton bertulang harus dipersiapkan terlebih dahulu agar proses pembuatan dapat berjalan dengan lancar, bahan – bahan harus diuji dengan standar yang sesuai dengan syarat – syarat di dalam SNI ataupun ACI.

Pada tahap persiapan dilakukan langkah-langkah berikut:

1. Pemeriksaan agregat halus (Pasir), meliputi : Uji dan analisis sesuai SK SNI yaitu analisa saringan, kadar air, kadar air Saturated Surface Dry (SSD), kadar lumpur, berat jenis.
2. Pemeriksaan agregat kasar, meliputi : Uji dan analisis sesuai SK SNI yaitu analisa saringan, kadar air, kadar lumpur, berat isi, berat jenis
3. Mix design dengan metode SNI setelah semua data yang diperlukan pada pemeriksaan bahan campuran diperoleh.

3.7 Persiapan Pengujian

3.7.1 Pembuatan Sampel Balok Beton Bertulang

1. Pembuatan Bekisting

Bekisting adalah cetakan sementara yang digunakan untuk menahan beton selama beton dituang dan dibentuk sesuai dengan yang diinginkan (Stephens,1985). Bekisting yang digunakan adalah papan kayu kelapa dengan ukuran dimensi 15 cm x 15 cm dan panjang 50 cm.



Gambar 3.4 Pembuatan Bekisting

2. Pemotongan dan Pembengkokan Tulangan

Pemotongan besi tulangan dilaksanakan di lapangan atau lokasi penelitian. Pemotongan besi tulangan dilakukan dengan gunting pemotong besi. Pemotongan tulangan sesuai dengan bentang yang dibutuhkan yaitu 50 cm dengan D10 mm untuk tulangan utama, tulangan $\varnothing 6$ mm untuk tulangan sengkang konvensional.

Sebelum melakukan pemotongan besi sebaiknya perhatikan beberapa prinsip pemotongan besi seperti: pemotongan sebaiknya sesuai dengan rencana pemotongan, yang biasanya dibuat berdasarkan panjang standart (12 meter), pastikan pemotongan dilakukan sedemikian rupa sehingga sisa potongan besi yang terbuat relative kecil.

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 $4d_b$, sehingga dibengkokkan sepanjang 5 cm pada kedua ujung tulangan sengkang sebagai kait tulangan.

Pembengkokan besi tulangan juga harus dilakukan sesuai dengan prosedur seperti: alat pemebengkok sesuai dengan diameter besi. Pembengkokan 135° untuk sengkang/begel besi polos pada ujung bebasnya harus dibuat kait atau penjangkaran $6x$ diameter besi ($6D$) atau ≥ 5 cm dan dibengkokkan ke rah dalam.



Gambar 3.5 pembengkokan tulangan

3. Perakitan Tulangan

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



Gambar 3.6 Perakitan Tulangan

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.



Gambar 3.7 Pemasangan tulangan

5. Pengecoran benda uji

Setelah semua telah selesai dipasang, maka dilakukan pengecoran beton 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.



Gambar 3.8 Pengecoran Benda Uji

6. Pembongkaran Bekisting

Proses pembongkaran bekisting dilakukan setelah beton dianggap mengeras. Pembongkaran bekisting dilakukan setelah 8-12 jam dari pengecoran terakhir. Jika pembongkaran dilakukan sebelum waktu maka akan terjadi kerusakan/cacat pada beton tersebut.



Gambar 3.9 Pembongkaran Bekisting

7. Perawatan benda uji

Perawatan benda uji dilakukan dengan cara merendam benda uji kedalam bak berisi air selama 28 hari sesuai SNI.



Gambar 3.10 Perawatan Benda Uji

3.8 Perencanaan Campuran Beton (mix desain)

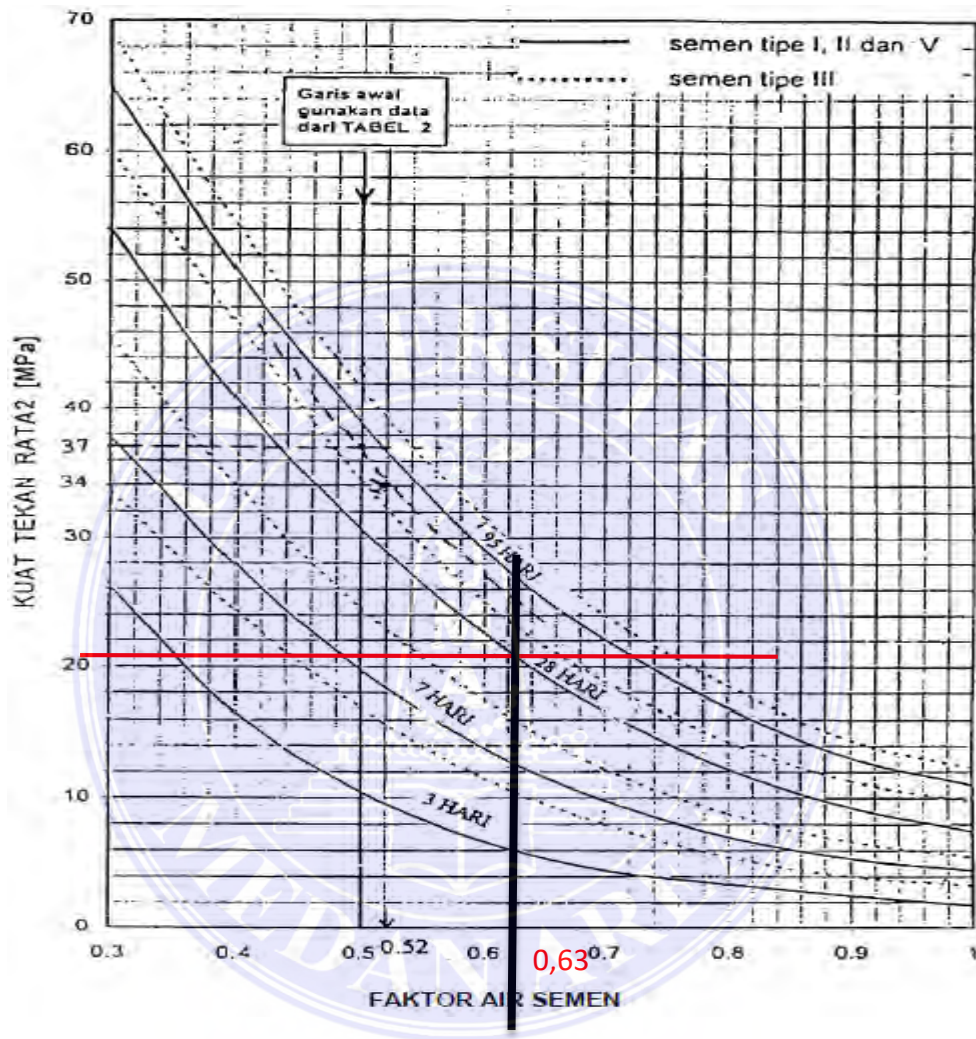
Untuk merencanakan campuran beton (mix desain) di butuhkan data – data seperti berat jenis, berat isi, dan lainnya. Setelah syarat-syarat di dalam SK – SNI terpenuhi maka Mix desain dapat direncanakan sebagai berikut :

3.8.1 Perhitungan Mix Desain

Cara pengerjaan Mix design dengan data-data sebagai berikut :

1. Kuat tekan karakteristik : 125 kg/cm² (sesuai data)
2. Standat deviasi rencana : 5,6 Mpa = 57,1 kg/cm²
3. Nilai tambah : $1.64 \times 57,1 = 93,64$ kg/cm²
4. Kuat tekan rata-rata : Umur 28 hari = $125 + 93,64 = 218,64$ kg/cm² = 21,43 MPa
5. Jenis semen : tipe I (ditetapkan)

6. Jenis agregat halus : alami (ditetapkan)
7. Jenis agregat kasar : alami (batu guli) (ditetapkan)
8. Faktor air semen (fas) : Pada grafik kuat tekan di dapat 0.63



Grafik 3.1 Faktor Air Semen
Sumber: SNI 2013

9. Faktor air semen maksimum (FAS) = 0,63 Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai Macam pembetonan dalam lingkungan khusus terdapat pada SNI Untuk

pemakaian beton pada pondasi, diperoleh fas maks 0,63. karena FAS yang diperoleh pada langkah 9 masih lebih besar dari fas maksimum.

10. Ukuran maksimum agregat halus : 20 mm (ditetapkan)

Tabel 3.1 Perkiraan kadar air bebas (Kg/m³)

Ukuran maks. Agregat (mm)	Jenis batuan	Slump			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Dengan ukuran agregat maksimum 20 mm, tipe agregat alami dan slump 60 mm-180 mm, maka diperlukan air bebas sebanyak :

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k = \frac{2}{3}195 + \frac{1}{3}225 = 205 \text{ kg/m}^3 \dots\dots\dots(\text{iv.i})$$

11. Kadar semen

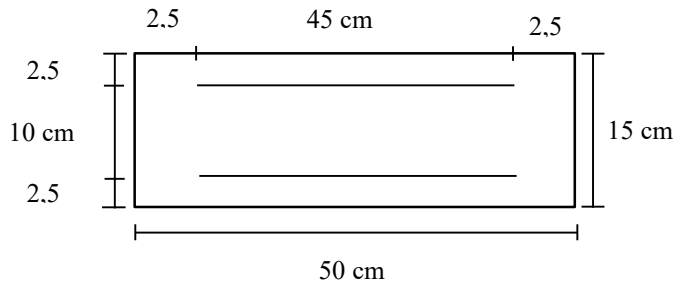
Kadar air bebas pada langkah 13 dibagi nilai fas yang terkecil = 205

$$/0,63 = 325,4 \text{ kg/m}^3$$

12. Fas yang disesuaikan yaitu dilakukan penyesuaian nilai Fas

13. Gradasi agregat halus = zona 2 (sesuai data)

Berat Mix Design yang dibutuhkan



Diketahui Volume Balok

$$V = P \times l \times t$$

$$\begin{aligned} V &= 0,5 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 0,01125 \text{ m}^3 \times \text{factor safety} \\ &= 0,01125 \text{ m}^3 \times 1,2 = 0,0135 \text{ m}^3 \\ &= 13500 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Dimana semen = 15% dari volume cetakan
 = 15% x 13500 = 2025 cm³

Jadi, Berat yang dibutuhkan = 2025 cm³ x berat jenis pasir
 = 2025 cm³ x 1,44 gr/cm³ = 2916 gr

Dimana pasir = 35% dari volume cetakan
 = 35% x 13500 cm³ = 4725 cm³

Berat yang dibutuhkan = 4725 cm³ x berat jenis pasir
 = 4725 cm³ x 1,44 gr/cm³ = 6615 gr

Dimana batu alami = 50% dari volume cetakan
 = 50% x 13500 cm³ = 6750 cm³

Jadi berat yang dibutuhkan = 6750 cm³ x berat jenis batu alami
 = 6750 cm³ x 1,8 gr/cm³ = 12150 gr

Factor air semen yang dibutuhkan (FAS) yang dibutuhkan 63%

$$\begin{aligned} \text{Dimana} &= 63\% \times 13500 \text{ cm}^3 \\ &= 8505 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi berat yang dibutuhkan} &= 8505 \text{ cm}^3 \times \text{berat jenis air} \\ &= 8505 \text{ cm}^3 \times 1 \text{ gr/cm}^3 = 8505 \text{ gr} \end{aligned}$$

Maka dari perhitungan mix desain tersebut didapat jumlah berikut :

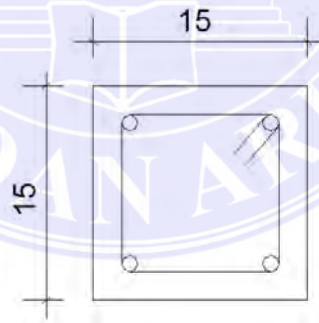
Semen (gr)	Ag, Halus (gr)	Ag Kasar (gr)	Air (gr)
2916	6615	12150	8505

Maka, proporsi Perbandingan Campuran = 1 : 3 : 4

3.9 Pelaksanaan Penelitian

3.9.1 Sampel Penelitian

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



Gambar 3.11 Sampel Penelitian

a. Pembuatan benda uji beton bertulang untuk pengujian kuat geser di gunakan benda uji balok dengan 3 variasi jarak sengkang yaitu :

- Beton bertulang dengan ukuran balok 50 cm x 15 cm x 15 cm, ukuran tulangan pokok 4D10 dan tulangan sengkang $\phi 6 - 100$.
- Beton bertulang dengan ukuran balok 50 cm x 15 cm x 15 cm, ukuran tulangan pokok 4D10 dan tulangan sengkang $\phi 6 - 150$.
- Beton bertulang dengan ukuran balok 50 cm x 15 cm x 15 cm, ukuran tulangan pokok 4D10 dan tulangan sengkang $\phi 6 - 200$.

3.10 Tahapan Penelitian

Penelitian dilaksanakan dalam 5 tahap yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Tahap I : Persiapan bahan-bahan dan alat-alat penelitian.
2. Tahap II : Pemeriksaan kualitas bahan-bahan penelitian, dan perencanaan campuran beton *ready mix*.
3. Tahap III : Penyediaan benda uji
 - a. Pembuatan benda uji beton bertulang untuk pengujian kuat geser di gunakan benda uji balok dengan 3 variasi jarak sengkang yaitu :
 - Beton bertulang dengan ukuran balok 50 cm x 15 cm x 15 cm, ukuran tulangan pokok 4D10 dan tulangan sengkang $\phi 6 - 100$.
 - Beton bertulang dengan ukuran balok 50 cm x 15 cm x 15 cm, ukuran tulangan pokok 4D10 dan tulangan sengkang $\phi 6 - 150$.
 - Beton bertulang dengan ukuran balok 50 cm x 15 cm x 15 cm, ukuran tulangan pokok 4D10 dan tulangan sengkang $\phi 6 - 200$.
 - b. Perawatan benda uji beton bertulang di rendam dalam bak berisi air selama 28 hari.

4. Tahap IV : Pengujian kuat geser benda uji beton bertulang.
5. Tahap V: Analisis data dan pembahasan, pembuatan kesimpulan dan saran.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Beban geser maksimal yang terjadi yaitu rata-rata sebesar 18,983 kN untuk sengkang dengan jarak 10 cm, 18,4 kN untuk sengkang dengan jarak 15 cm dan 17.9 kN untuk sengkang dengan jarak 20 cm.
2. Kuat geser maksimal rata-rata sebesar 11,01 kN untuk jarak sengkang 10 cm, 10,427 kN untuk jarak sengkang 15 cm dan 9.927 kN untuk jarak sengkang 20 cm.
3. Terdapat perbedaan beban geser antara tulangan sengkang dengan jarak 10 cm, 15 cm dan 20 cm selisih beban geser maksimal rata-rata sebesar 3% dan selisih kuat geser maksimal rata-rata sebesar 5,3%
4. Dalam penggunaannya, sengkang dengan jarak 10 cm akan sedikit lebih kuat dibandingkan dengan sengkang jarak 15 cm dan 20 cm. Maka dari itu semakin sedikit jarak sengkang maka semakin besar kuat geser balok tersebut.

Sedangkan hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh para ahli, keretakan yang terjadi pada benda uji dominan merupakan keretakan geser lentur. Pada kelompok sampel dengan jarak sengkang 50 mm dan 150 mm,

kuat geser sengkang terbesar terjadi pada balok uji menggunakan sengkang vertikal dengan sudut bengkokkan kait 135° . Untuk kelompok sampel dengan jarak sengkang 100 mm, kuat geser sengkang terbesar terjadi pada balok uji menggunakan sengkang vertikal dengan sudut bengkokkan kait 90° . Perbedaan kekuatan (selisih kekuatan) antara ketiga jenis sengkang tersebut sangat signifikan. Sehingga secara umum dapat dinyatakan bahwa sengkang vertikal dengan sudut bengkokkan kait 135° lebih kuat dibandingkan sengkang vertikal dengan sudut bengkokkan kait 90° dan sengkang vertikal model “U”, Iqbal dkk (2013)

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 5 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.
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

senggang konvensional di ujung – ujung dan di tengah tulangan memanjang agar didapatkan data yang lebih.



DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, A., 2017. *Teori dan Desain Plat Balok Beton Bertulang*, Muhammadiyah University Press, Surakarta
- Asroni, Ali. 2010. *Teori dan Desain Plat Balok Beton Bertulang*, Graha Ilmu, Yogyakarta
- Asni Tandilino, 2018. (Jurnal) *Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Sistem Rangka dengan Variasi Jarak Spasi*, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar
- Febrianti Kumaseh, 2015. (Jurnal) *Pengaruh Jarak Sengkang Terhadap Kapasitas Beban Aksial Maksimum Kolom Beton Berpenampang Lingkaran dan Segi Empat*, Fakultas Teknik, Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado
- Muhammad Igbal, 2013. (Jurnal) *Pengujian Geser Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Sengkang Konvensional*, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Manado
- Nawy, E. G., 1985, "Beton bertulang suatu pendekatan dasar"
- 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
- Sutarman, Encu, 2013. *Konsep dan Aplikasi Pengantar Teknik Sipil*, Andi Offset, Yogyakarta.
- SK.SNI T-15-1990-03: "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung"
- SNI Standar Nasional Indonesia : SNI 2847:2013: "Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung "
- SNI Standar Nasional Indonesia : SNI 3843-2000: "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal "
- Yunita Ariani Nasution, 2019. (jurnal) *perbandingan kuat geser antara sengkang konvensional dan sengkang "U" pada balok beton bertulang*, Fakultas teknik, Universitas Medan Area, Medan.

LAMPIRAN

FOTO DOKUMENTASI





