

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton merupakan kombinasi dari batu, pasir, semen dan air ada atau tanpa adanya zat aditif untuk membentuk beton dengan sifat tertentu seperti ketahanan, kemudahan pengecoran dan lamanya pengerasan. Kombinasi dari bahan – bahan tersebut dapat berfungsi sebagai bahan ikat dan pengisi yang akhirnya akan menjadi suatu kesatuan yang kompak, keras dan padat seiring berjalannya waktu.

Pada proses pengerasan beton, umur beton yang sangat mempengaruhi kekuatan beton. Kekuatan beton meningkat seiring dengan umur beton yang bertambah. Daya kuat tahanan beton naik secara bertahap sampai pada umur ke - 28 hari. Setelah itu kekuatan beton meningkat dengan skala kecil sampai mencapai beton dengan kekuatan penuh.

2.1.1 Kelebihan dan Kekurangan Beton

Beton merupakan suatu bahan konstruksi yang tentu memiliki kelebihan dan kekurangan dari beton itu sendiri.

Beton sebagai suatu bahan konstruksi memiliki kelebihan sebagai berikut :

1. Dalam proses pengerjaan beton dapat dibentuk dengan mudah.
2. Beton memiliki daya tahan terhadap beban yang kuat.
3. Beton memiliki daya tahan temperature yang tinggi.
4. Biaya *maintenance* yang terjangkau.

Beton sebagai suatu bahan konstruksi memiliki kekurangan sebagai berikut :

1. Sulit melakukan perubahan bentuk terhadap beton yang telah dibuat.
2. Proses pengerjaan beton memerlukan keketelitian yang tinggi.

3. Beton lebih berat dibandingkan dengan bahan konstruksi lainnya.
4. Dapat memantulkan suara yang besar.
5. Tidak kuat dalam menahan gaya tarik.

2.1.2 Mutu Beton

Beton yang baik merupakan beton dengan kuat tekannya mencapai kuat tekan yang direncanakan. Bahan susun beton yang dipakai juga memiliki kualitas yang baik. Selain pemakaian bahan susun yang berkualitas, yang dapat mempengaruhi mutu beton sebagai berikut :

1. Faktor air semen

Jumlah volume air yang dipakai dalam pembuatan beton dihitung sesuai dengan proporsi antara berat air dan berat semen sehingga

rumus faktor air semen yaitu :

$$\text{Faktor air semen (FAS)} = \frac{\text{berat air campuran beton}}{\text{berat semen campuran beton}}$$

Berdasarkan rumus diatas, jika nilai fas semakin besar maka volume air yang diperlukan besar juga dalam pembuatan beton, berarti campuran beton yang dihasilkan semakin cair dan mempermudah proses pengecoran tetapi mutu beton akan turun.

2. Umur beton

Umur beton yang semakin maka kuat tekan beton akan bertambah serta mencapai kekuatan maksimum dengan waktu umur beton 28 hari. Adapun tabel hubungan umur beton dan kekuatan tekan beton yaitu :

Umur beton (hari)	Kuat tekan beton (%)
3	40
7	65
14	88
21	95
28	100
90	120
365	135

Tabel 2.1 Hubungan antara Umur beton dan Kuat Tekan Beton

3. Jumlah & jenis semen

Jika memiliki nilai fas yang sama, kuat tekan beton yang rendah disebabkan oleh jumlah semen yang dipakai terlalu sedikit atau terlalu berlebihan. Pemakaian semen yang sedikit maka memerlukan air yang sedikit juga sehingga campuran beton menjadi kental dan daya tahan kuat tekan beton jadi rendah. Demikian pula pemakaian semen yang terlalu banyak maka memerlukan air yang banyak juga sehingga campuran beton menjadi encer sehingga beton yang dihasilkan berpori – pori yang berakibat kuat tekan betonya menjadi rendah. Jenis semen yang berbeda juga akan mempengaruhi kuat tekan beton semakin bagus kualitas semen yang dipakai maka hasil kuat tekan beton yang dapat dicapai juga semakin tinggi.

4. Sifat agregat

Sebenarnya sifat agregat tidak terlalu besar mempengaruhi kuat tekan beton, karena biasanya agregat akan memiliki kekuatan yang besar daripada campuran pasta. Jikalau beton didesain memiliki kuat tekan yang besar maka kekuatan agregat yang dipakai tidak

boleh lebih rendah daripada campuran pasta beton. Ukuran butir maksimum agregat dan kekasaran permukaan agregat yang mempengaruhi kuat tekan beton.

2.2 Balok

Balok merupakan elemen konstruksi yang menahan beban dari plat lantai dan menyalurkan pembebanan tersebut menuju ke kolom.

Balok yang baik adalah balok yang dapat menahan pembebanan yang dikerjakan pada balok tetapi tidak terjadinya retakan struktural sehingga dalam perencanaan balok yang pertama diperhitungkan adalah beban mati balok sendiri dan kombinasi beban lainnya yang terjadi.

2.2.1 Fungsi Balok Tulangan

Balok sebagai suatu struktur bangunan memiliki fungsi yang sesuai dengan *material* yang terkait. Inti dari fungsi suatu balok sebagai berikut:

1. Menerima dan menahan gaya tekan.
2. Menyelimuti besi tulangan agar tidak berkarat.

Namun fungsi pokok dari besi tulangan yaitu :

1. Kuat menahan gaya tarik maupun tekan.
2. Menghindari agar retak beton tidak merambat.

2.3 Faktor Reduksi Kekuatan \emptyset

Faktor reduksi kekuatan (\emptyset) merupakan perlemahan dari daya tahan bahan terhadap beban yang diakibatkan oleh ketidakpastian struktur. Nilai \emptyset yang berdasarkan SNI 03-2847-2002 Pasal 11.3 ditentukan yaitu :

1. Geser dan torsi,

$$\emptyset = 0,75$$

2. Tumpuan pada beton,

$$\emptyset = 0,65$$

3. Beban aksial dan beban aksial dengan lentur

a. Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur,

$$\emptyset = 0,80$$

b. Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur

(1) Komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa,

$$\emptyset = 0,65$$

(2) Komponen struktur dengan tulangan spiral atau

sengkang ikat,

$$\emptyset = 0,70$$

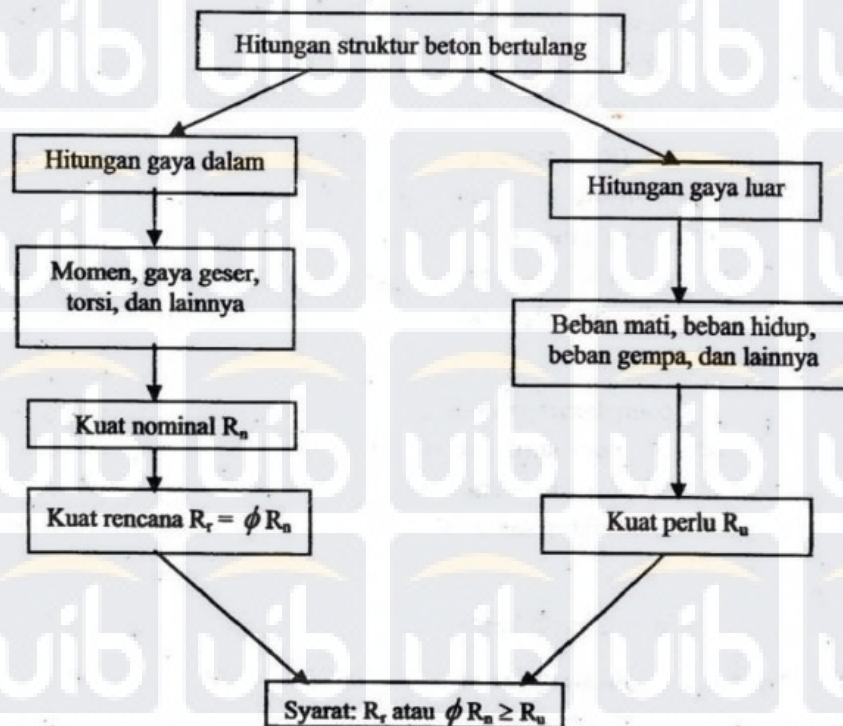
4. Struktur lentur tanpa beban aksial

$$\emptyset = 0,80$$

2.4 Prinsip Hitungan Struktur Beton Bertulang

Ada 2 jenis perhitungan struktur beton tentang hubungan dengan gaya luar dan dalam. Pada perhitungan gaya luar, menggunakan faktor beban untuk memperoleh nilai kuat perlu (R_u) dan perhitungan gaya dalam diperlukan juga menggunakan faktor reduksi kekuatan \emptyset untuk memperoleh nilai kuat rencana ($R_r = \emptyset R_a$) minimal setara dengan nilai kuat perlu (R_u).

Skema Dasar Hitungan Beton Bertulang

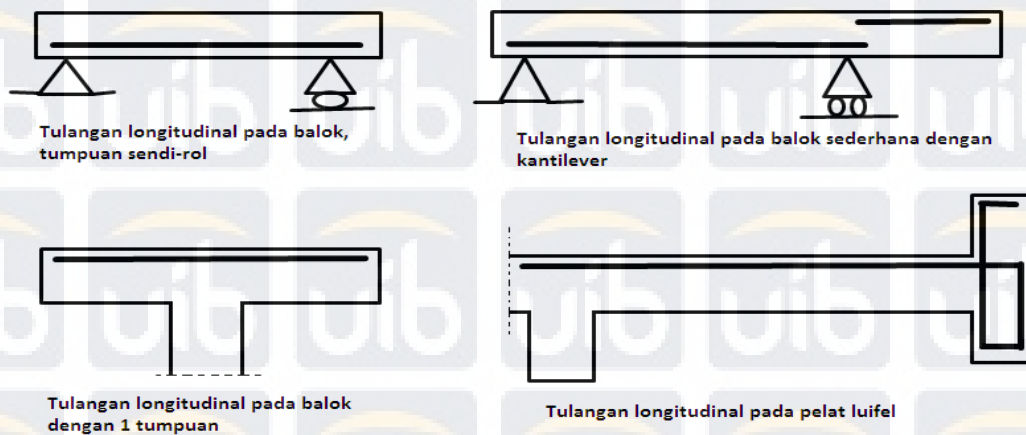


Gambar 2.1 Skema Dasar Hitungan Beton Bertulang

2.5 Pemasangan Tulangan

2.5.1 Pemasangan Tulangan Longitudinal

Pemasangan tulangan longitudinal balok beton bertujuan untuk menahan gaya tarik. Tulangan longitudinal balok dipasang searah sumbu batang pada bentangan yang memiliki tegangan tarik yang mampu memikul momen lentur yang besar (biasanya pada daerah tengah bentang). Berikut adalah contoh - contoh penempatan tulangan longitudinal pada balok:

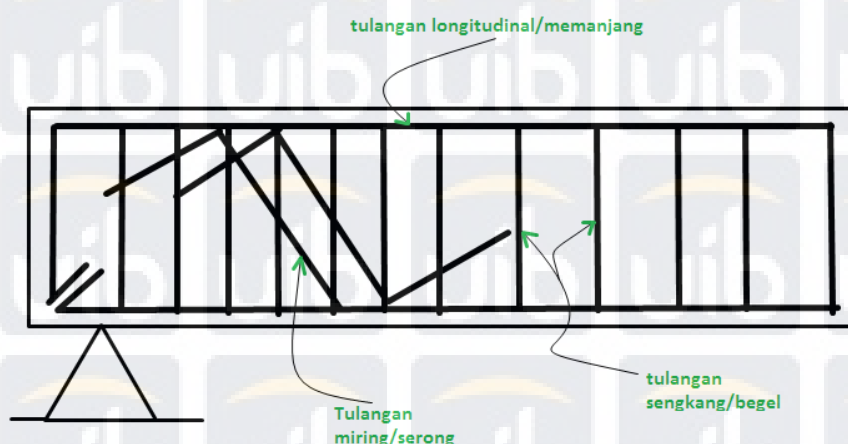


Gambar 2.2 Contoh Pemasangan Tulangan Longitudinal pada Balok dan Plat

2.5.2 Pemasangan Tulangan Geser

Pemasangan tulangan geser bertujuan untuk menahan gaya geser / lintang yang tidak kuat ditahan oleh bahan penyusun balok sehingga menyebabkan terjadinya retakan pada bagian ujung balok atau dekat dengan tumpuan.

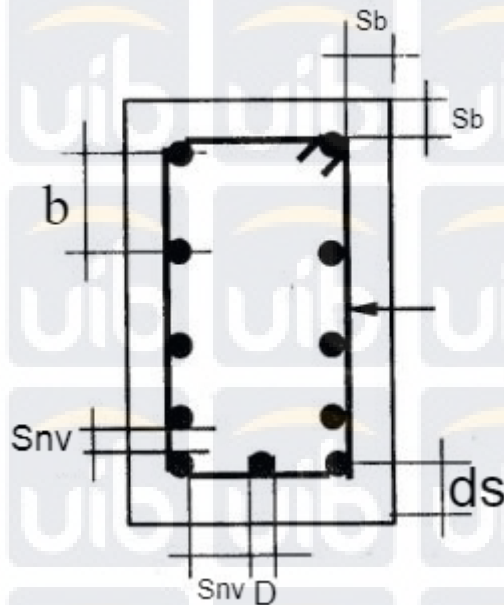
Pemasangan tulangan geser memasang dengan bentuk sengkang / begel, tulangan serong / miring. Biasanya jarak begel balok yang dipasang akan berbeda pada daerah tumpuan balok dan lapangan balok. Daerah tumpuan balok dipasang begel yang lebih rapat karena memiliki gaya geser yang besar. Sebaliknya untuk daerah lapangan balok begel yang dipasang akan lebih renggang karena memiliki gaya geser yang lebih kecil.



Gambar 2.3 Pemasangan Tulangan Geser Balok (Pada Setengah Bentang)

2.5.3 Jarak Tulangan pada Balok

Untuk pemasangan tulangan utama dan begel mempunyai aturan pemasangannya sesuai gambar 2.5 yaitu:



Gambar 2.4 Aturan pemasangan tulangan balok

Dengan keterangan gambar 2.4:

b = Jarak maksimal (as – as) tulangan samping (3.3.6-7 SK SNI T-15-1991-03), diambil ≤ 300 mm dan \leq balok $(1/6)$ kali tinggi efektif balok. Tinggi efektif = tinggi balok – d_s atau $d = h - d_s$.

d_s = Jarak titik berat tulangan tarik sampai serat tepi beton bagian tarik sebaiknya diambil ≥ 60 mm.

D = Diameter tulangan longitudinal, mm.

S_b = Tebal penutup beton minimal (9.7-1 SNI 03-2847-2002). Jika berhubungan dengan tanah / cuaca:

Untuk $D \geq 16$ mm, tebal $S_b = 50$ mm.

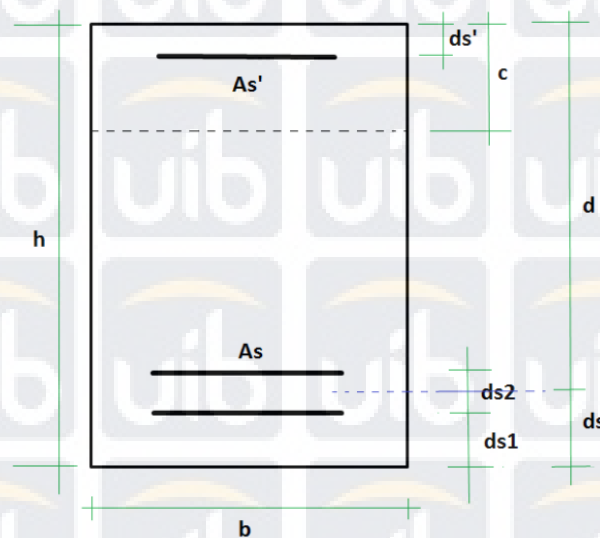
Untuk $D < 16$ mm, tebal $S_b = 40$ mm.

S_n = Jarak bersih tulangan pada arah mendatar (9.6-1 SNI 03-2847-2002)
diambil ≥ 25 mm, dan $\geq D$. Disarankan $d \geq 40$ mm.

S_{nv} = Jarak bersih tulangan pada arah vertical (9.6-2 SNI 03-2847-2002)
diambil ≥ 25 mm, dan $\geq D$.

2.5.4 Notasi Pada Balok

Untuk memudahkan baik dalam proses perhitungan maupun dalam pekerjaan lapangan notasi suatu struktur sangat dibutuhkan. Notasi umum untuk struktur balok biasanya adalah b sebagai lebar penampang balok serta h sebagai tinggi penampang balok. Berikut notasi – notasi balok yang dijelaskan lebih rinci sesuai gambar 2.5 yaitu:



Gambar 2.5 Penampang dan notasi balok

Dengan keterangan gambar 2.5:

b = Lebar penampang balok, mm.

h = Tinggi penampang balok, mm.

d = Tinggi efektif penampang balok, mm.

c = Jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan, mm.

d_s = Jarak antara titik berat tulangan tarik dan tepi serat beton tarik, mm.

A_s = Luas tulangan tarik, mm².

A_s' = Luas tulangan tekan, mm².

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

d_{s2} = Jarak antara titik berat tulangan tarik pada baris pertama dan kedua, mm.

d_s' = Jarak antara titik berat tulangan tekan tepi serat beton tekan, mm.

2.5.5 Jumlah Tulangan & Jumlah Tulangan Maksimal Dalam 1 Baris

Jumlah tulangan yang dapat dipasang 1 baris (m) sangat terbatas oleh lebar balok yang terbatas juga. Apabila jumlah tulangan total (n) lebih besar dari nilai m maka diharuskan penulangan yang lebih tersebut dipasangkan di barisan atas dengan jarak d_s . Persamaan jumlah tulangan maksimal pada 1 baris (m) dapat dirumuskan:

$$m = \frac{b \cdot 2 \cdot d_{s1}}{D + S_n} + 1$$

Untuk persamaan jumlah maksimal tulangan ditentukan sebagai berikut:

$$n = \frac{A_{s,u}}{0,25 \times \pi \times D^2}$$

dengan:

m = Jumlah tulangan maksimal dalam 1 baris dan dapat dibulatkan keatas bila > 0.86 .

n = Jumlah tulangan maksimal.

$A_{s,u}$ = Luas tulangan perlu, mm².

π = Pi dengan nilai 3,14 atau $\frac{22}{7}$.

2.6 Tinggi Penampang Minimal Balok

Ukuran penampang balok dapat mempengaruhi keamanan struktur balok. Untuk mendukung beban lentur yang terjadi, maka memerlukan ukuran penampang balok yang lebih besar untuk menahan lendutan yang terjadi sehingga tidak terjadinya retak yang lebar dan meruntuhkan balok.

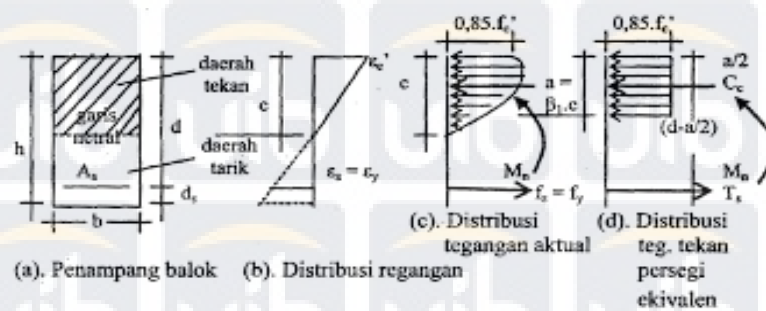
Untuk perhitungan lendutan yang tidak dihitung secara detail, maka sesuai SNI 03-2847-2002 menyediakan balok dan plat dengan tinggi minimal yang terdapat dalam tabel 2.2 tanpa melakukan perhitungan terhadap lendutan.

Komponen Struktur	Tinggi minimal			
	Dua tumpuan	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang akan rusak karena lendutan yang besar			
Pelat solid satu arah	L/20	L/24	L/28	L/10
Balok atau pelat jalur satu arah	L/16	L/18,5	L/21	L/8

Tabel 2.2 Tinggi Minimal Balok Non Pratekan atau Pelat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung.

2.7 Distribusi Regangan dan Tegangan Balok

Perhitungan balok bentuk persegi yang memakai penulangan tunggal, maka diperlukan gambar distribusi regangan, tegangan beton beserta notasinya, seperti gambar 2.6.



Gambar 2.6 Distribusi Regangan dan Tegangan Pada Balok Tulangan Tunggal

Penjelasan notasi diatas yaitu :

a = Tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen = $\beta_1 \cdot c$, mm.

c = Jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan, mm.

d = Tinggi efektif penampang balok, mm.

A_s = Luas tulangan tarik, mm².

C_c = Gaya tekan beton, kN.

T_s = Gaya tarik baja tulangan, kN.

d_s = Jarak antara titik berat tulangan tarik dan tepi serat beton tarik, mm.

E_s = Modulus elastisitas baja tulangan, dipakai $E_s = 200.000$ MPa.

f_s = Tegangan tarik baja tulangan. $f_s = \epsilon_s \cdot E_s$, MPa.

f_c' = Tegangan tekan beton yang disyaratkan pada umur 28 hari, MPa.

f_y = Tegangan tarik baja tulangan pada saat leleh, MPa.

M_n = Momen nominal aktual, kNm.

β_1 = Faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekuivalen yang

tergantug pada nilai mutu beton (f_c') sesuai pasal 12.2.7.3 SNI 03-2847-2002):

Untuk $f_c' > 30$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85 - (0,05 \cdot (f_c' - 30)) / 7$

Untuk $f_c' \leq 30$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85$

ε_s = Regangan tarik baja tulangan.

ε_y = Regangan tarik baja tulangan pada saat leleh = $f_y/E_s = f_y/200000$.

ε_c' = Regangan tekan beton dengan ε_c' maksimal (ε_{cu}') = 0,003.

2.8 Batas Perencanaan Balok

Kondisi – kondisi batas yang dijadikan *constraint* dalam perencanaan beton bertulang memiliki kondisi dasar dalam SNI 03-2847-2002 yaitu:

1. Kondisi batas *ultimate*, kondisi yang terjadi karena beberapa faktor berikut:
 - a. Ketidakseimbangan antara lokal atau global.
 - b. Elemen struktur yang kehilangan daya tahan lentur dan geser.
 - c. Keruntuhan lokal akibat adanya keruntuhan *progressive*.
 - d. Pembentukan sendi plastis.
 - e. Struktur yang tidak stabil.
2. Kondisi batas kemampuan layanan, kondisi dimana fungsi struktur yang tidak sempurna, yaitu:
 - a. Kelebihan defleksi yang terjadi.
 - b. Banyak terjadinya retak yang lebar.
 - c. Terjadinya Vibrasi yang mengganggu.
3. Kondisi batas khusus, kondisi dimana terjadinya kerusakan / keruntuhan akibat adanya beban yang tidak *normal*, yaitu:
 - a. Keruntuhan yang disebabkan gempa ekstrim.
 - b. Kerusakan yang terjadi akibat kecelakaan maupun aksi sengaja.
 - c. Kerusakan akibat lingkungan seperti korosi .

2.9 Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok

Menurut SNI 03-2837-2002 Pasal 12.2.5 sesuai gambar 2.6. Jika balok memikul momen lentur yang besar, maka balok bagian atas terjadi tegangan tekan dengan beton sebagai penahan dan bagian bawah terjadi tegangan tarik yang akan ditahan oleh besi tulangan.

Perencanaan beton bertulang yang baik adalah perencanaan yang mengoptimalkan penggunaan kekuatan beton dan besi tulangan. Untuk bagian beton yang memiliki daya tahan beban tekan yang kuat, maka kekuatan tersebut dapat dipergunakan dengan tidak melewati batas runtuh regangan tekan beton dengan nilai ϵ_c' maksimal = 0,003.

Untuk perhitungan gaya tekan beton (C_c) yang sesuai gambar 2.6.d yang merupakan perkalian antara tegangan dan luas penampang yang dapat dirumuskan yaitu:

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

Nilai gaya tarik besi tulangan (T_s) adalah hasil kali luas besi tulangan dengan tegangan leleh besi tulangan dapat dirumuskan yaitu:

$$T_s = A_s \cdot f_y$$

Sesuai gambar 2.6.a, balok dalam keadaan seimbang terjadi jika gaya tekan beton memiliki nilai yang sama terhadap gaya tarik besi tulangan. Dari pernyataan tersebut maka dapat dirumuskan:

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y$$

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

2.10 Faktor Momen Pikul K dan Nilai a

Pada gambar 2.6.d nilai gaya tarik besi tulangan memiliki nilai yang sama dengan gaya tekan beton, untuk kedua gaya memiliki arah yang berlawanan yang jaraknya sebesar $d - a/2$. Ketika suatu gaya dihubungkan dengan jarak tegak lurus, maka dapat membentuk suatu momen dalam hal ini disebut momen nominal actual M_n sehingga momen nominal tersebut memiliki persamaan sebagai berikut:

$$M_n = C_c \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \text{ atau } M_n = T_s \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

Kemudian faktor momen pikul (K) merupakan hasil pembagian antara momen nominal (M_n) dan luas efektif dan tinggi efektif balok sehingga dari pernyataan diatas faktor momen pikul (K) memiliki persamaan berikut:

$$K = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \text{ atau } K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$

dengan nilai a dapat dirumuskan:

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0.85 \cdot f'_c}}\right) \cdot d$$

dengan:

M_n = Momen nominal aktual, kNm.

M_u = Momen *ultimate*, kNm.

K = Momen pikul, MPa.

2.11 Sistem Perencanaan yang digunakan

Menurut SNI 03-2847-2002, Batasan perencanaan tulangan balok ada dua yaitu:

1. Sesuai Pasal 12.5 SNI 03-2847-2002, agar rasio tulangan ρ tidak terlalu sedikit maka harus memenuhi ketentuan dibawah:

$$A_s \text{ harus } \geq A_{s \text{ min}} \text{ atau } \rho \geq \rho_{\text{min}} \text{ dengan } \rho = A_s/(b.d)$$

Dengan:

$$A_{s \text{ min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4.f_y} . b . d \text{ atau}$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} . b . d \text{ (dipilih yang besar)}$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4.f_y} \text{ atau } \rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} \text{ (dipilih yang besar)}$$

2. Sesuai Pasal 12.3.3 SNI 03-2847-2002, untuk mendekati system perencanaan keruntuhan seimbang maka diberikan syarat berikut:

$$A_s \text{ harus } \leq A_{s \text{ maks}} \text{ atau } \rho \leq \rho_{\text{maks}}$$

dengan:

$$A_{s \text{ maks}} = 0,75.A_{s,b} \text{ dan } \rho_{\text{maks}} = 0,75.\rho_b$$

2.12 Perencanaan Beton Tulangan Tunggal

2.12.1 Rasio Tulangan Maksimal

Rasio tulangan maksimal, sesuai dengan syarat ρ_b harus $\leq \rho_{\text{maks}}$ dan ρ harus $\geq \rho_{\text{min}}$. Jika memasukan nilai ρ_b kedalam $\rho_{\text{maks}} = 0,75.\rho_b$, maka akan diperoleh nilai ρ_{maks} dengan persamaan berikut:

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75.\rho_b = \frac{382,5.\beta_1.f_c'}{(600 + f_y).f_y}$$

Persamaan ρ_{maks} diatas dapat disimpulkan bahwa rasio tulangan maksimal (ρ_{maks}) cuma tergantung pada mutu beton (f_c') dan mutu besi tulangan (f_y) tetapi tidak dipengaruhi oleh dimensi ukuran penampang balok. Oleh karena itu, nilai rasio tulangan maksimal dapat ditabelkan dalam tabel 2.3 dibawah ini.

Mutu beton f_c' (MPa)	Mutu baja tulangan f_y (MPa)					
	240	300	350	400	450	500
15	2,419	1,805	1,467	1,219	1,032	0,887
20	3,225	2,408	1,956	1,626	1,376	1,182
25	4,032	3,010	2,445	2,032	1,720	1,478
30	4,838	3,616	2,933	2,438	2,064	1,773
35	5,405	4,036	3,277	2,724	2,724	1,981
40	5,912	4,414	3,585	2,980	2,522	2,167
45	6,344	4,737	3,846	3,197	2,707	2,325
50	6,707	5,008	4,067	3,380	2,862	2,458
55	7,002	5,228	4,245	3,529	2,988	2,567
60	7,400	5,525	4,486	3,729	3,157	2,712

Tabel 2.3 Rasio Tulangan Maksimal (ρ_{maks}) dalam Persen (%)

2.12.2 Rasio Tulangan Minimal

Rasio tulangan minimal, sesuai dengan syarat ρ_b harus $\geq \rho_{min}$. Nilai ρ_{min} dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4.f_y} \text{ atau } \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ (dipilih yang besar).}$$

Maka nilai ρ_{min} = dapat dijabarkan menjadi rumus berikut:

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4.f_y} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\sqrt{f_c'} = 1,4.4 = 5,6 \rightarrow f_c' = 5,6^2 = 31,36 \text{ MPa.}$$

Sehingga nilai ρ_{min} memiliki batasan di bawah ini:

1. Jika mutu beton $f_c' \leq 31,36$ MPa, nilai ρ_{min} yaitu:

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

2. Jika mutu beton $f_c' \geq 31,36$ MPa, maka nilai

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y}$$

Oleh karena itu, nilai rasio tulangan minimal dengan $f_c' \leq 31,36$ MPa hanya dipengaruhi oleh mutu besi tulangan (f_y) dan jika $f_c' \geq 31,36$ MPa nilai rasio tulangan minimal dipengaruhi oleh mutu beton (f_c') dan mutu besi tulangan (f_y).

Dari pernyataan diatas maka nilai rasio tulangan minimal (ρ_{min}) dapat ditabelkan untuk dipakai pada perencanaan.

Mutu beton f_c' (MPa)	Mutu baja tulangan f_y (MPa)					
	240	300	350	400	450	500
$\leq 31,36$	0,583	0,467	0,400	0,350	0,311	0,280
35	0,616	0,493	0,423	0,370	0,329	0,296
40	0,659	0,527	0,452	0,395	0,351	0,316
45	0,699	0,559	0,479	0,419	0,373	0,335
50	0,737	0,589	0,505	0,442	0,393	0,354
55	0,773	0,618	0,530	0,464	0,412	0,371
60	0,807	0,645	0,553	0,484	0,430	0,387

Tabel 2.4 Rasio Tulangan Minimal (ρ_{min}) dalam Persen (%)

2.12.3 Faktor Momen Pikul Maksimal

Dari penjabaran dari nilai nilai dibawah makan nilai faktor momen pikul maksimal dapat dihitung sebagai berikut:

$$A_{s maks} = \rho_{maks} \cdot b \cdot d$$

Dengan nilai $A_{s maks}$ disubstitusikan kedalam nilai T_s , maka akan mendapatkan persamaan sebagai berikut:

$$T_s = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot d}{(600 + f_y)}$$

Gaya tarik tulangan ($T_{s,b}$) dan gaya tekan beton ($C_{c,b}$) memiliki nilai yang sama sehingga menghasilkan persamaan berikut:

$$C_{c,b} = T_{s,b}$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot b \cdot d}{(600 + f_y)}, \text{ dan}$$

$$a = \frac{450 \cdot \beta_1 \cdot d}{(600 + f_y)}$$

Dengan mensubstitusikan nilai T_s diatas dan nilai a diatas kedalam persamaan M_n , setelah dijabarkan akan mendapat persmaan sebagai berikut:

$$M_{n \text{ maks}} = T_s \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot b \cdot d}{(600 + f_y)} \times \left\{d - \frac{450 \cdot \beta_1 \cdot d}{2 \cdot (600 + f_y)}\right\}$$

Jadi:

$$M_{n \text{ maks}} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot b \cdot d^2 \cdot (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + f_y)^2}$$

Telah diketahui faktor momen pikul $K = M_n / (b \cdot d)^2$ dan mensubstitusikan $M_{n \text{ maks}}$ kedalam nilai K akan persamaan yaitu:

$$K_{\text{maks}} = \frac{M_{n \text{ maks}}}{(b \cdot d^2)}$$

$$K_{\text{maks}} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + f_y)^2}$$

Dari persamaan K_{maks} dapat dinyatakan nilai K_{maks} hanya bergantung pada mutu beton (β_1 dan f'_c) serta mutu baja tulangan (f_y) sehingga nilai K_{maks} dapat ditabelkan sebagai berikut:

Mutu beton f_c' (MPa)	Mutu baja tulangan f_y (MPa)					
	240	300	350	400	450	500
15	4,4839	4,2673	4,1001	3,9442	3,7987	3,6627
20	5,9786	5,6897	5,4668	5,2569	5,0649	4,8836
25	7,4732	7,1121	6,8335	6,5736	6,3311	6,1045
30	8,9679	8,5345	8,2002	7,8883	7,5973	7,3254
35	10,1445	9,6442	9,2595	8,9016	8,5682	8,2573
40	11,2283	10,6639	10,2313	9,8296	9,4563	9,1087
45	12,1948	11,5704	11,0930	10,6509	10,2407	9,8593
50	13,0485	12,3683	11,8497	11,3705	10,9266	10,5145
55	13,7846	13,0535	12,4977	11,9850	11,5109	11,0716
60	14,6670	13,8816	13,2853	12,7358	12,2283	11,7583

Tabel 2.5 Faktor Momen Pikul Maksimal (K_{maks}) dalam MPa.

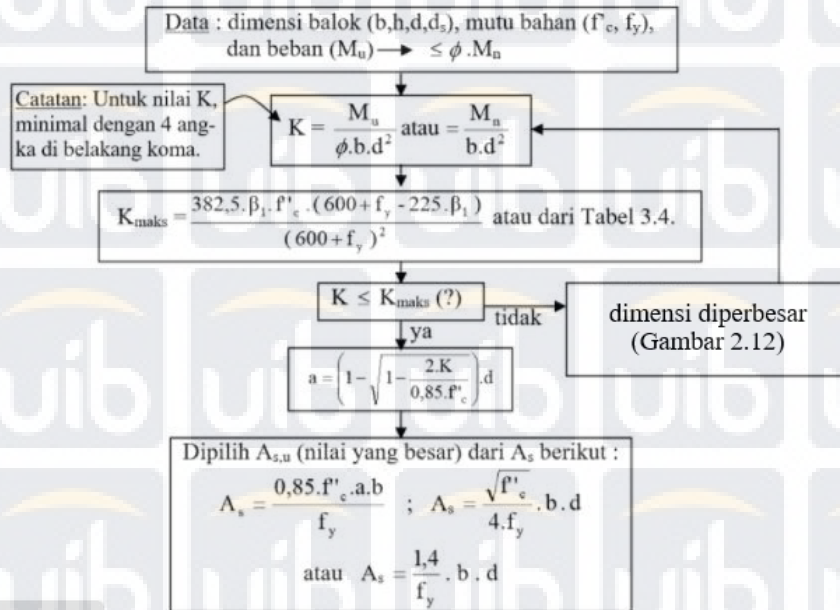
Jika K memiliki nilai yang lebih kecil daripada nilai K_{maks} , maka ukuran penampang balok sudah cukup dan dapat dihitung dengan tulang tarik saja (tulangan tunggal).

Sedangkan jika nilai K lebih besar daripada nilai K_{maks} , maka ukuran penampang balok tidak boleh dipakai dan perlu dilakukan desain ukuran penampang yang berbeda ataupun dipaksakan balok tersebut menjadi sistem perencanaan *over-reinforced*.

2.13 Skema Hitungan Beton Bertulang

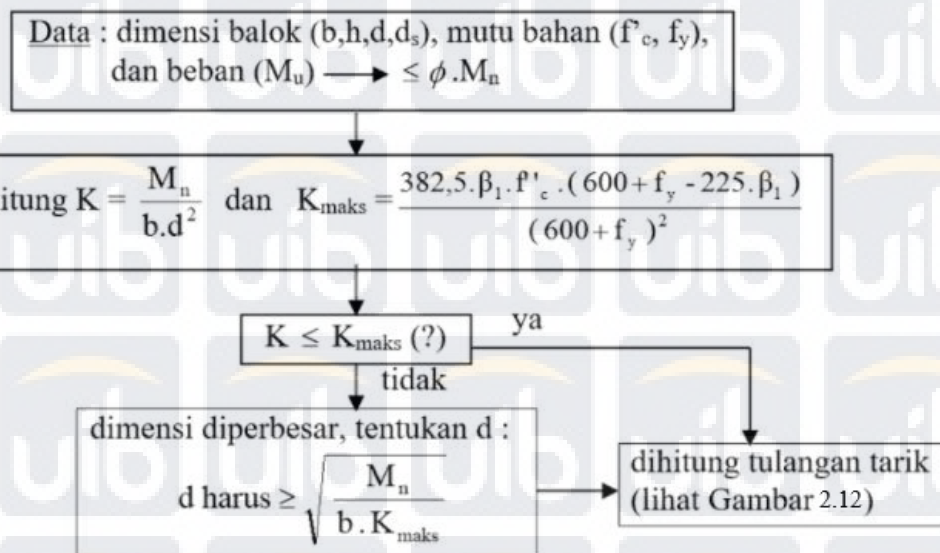
Skema hitungan beton bertulang digunakan untuk mempermudah dalam metode perhitungan yang dibedakan 3 jenis, yaitu menentukan luas tulangan balok, memperbesar ukuran balok dan menentukan momen rencana balok.

Skema hitungan luas tulangan balok sesuai dengan gambar 2.7.



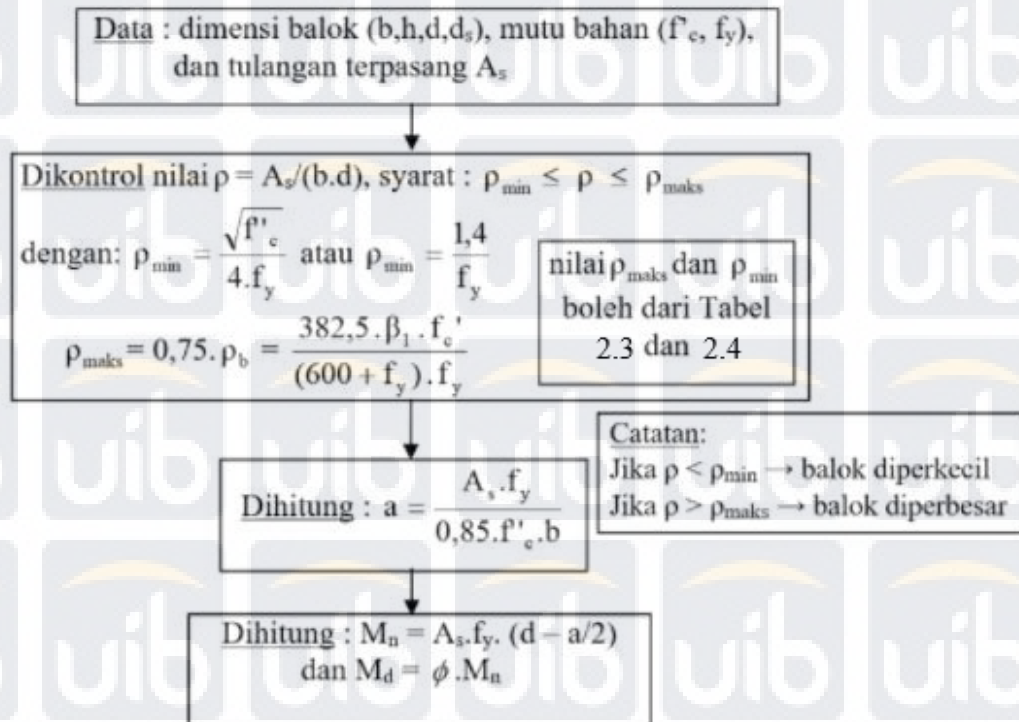
Gambar 2.7 Skema Hitungan Tulangan Longitudinal Balok

Skema hitungan pembesaran dimensi balok sesuai dengan gambar 2.8.



Gambar 2.8 Skema Hitungan Pembesaran Dimensi Balok

Skema hitungan momen rencana balok sesuai gambar 2.9.



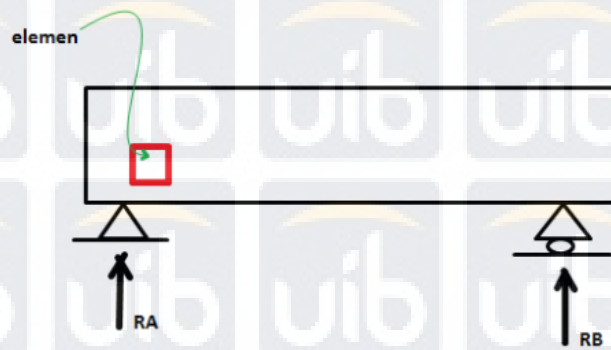
Gambar 2.9 Skema Hitungan Momen Rencana Balok

2.14 Tulangan Geser Balok

2.14.1 Retak Balok Akibat Gaya Geser

Untuk mempermudah penjelasan mengenai retak balok akibat gaya geser maka diambil dan diperbesar sebuah elemen beton di daerah ujung balok sehingga dapat menggambarkan gaya geser pada struktur balok dengan gambar 2.10, 2.11 dan 2.12.

Pada gambar 2.10, reaksi (R_A dan R_B) yang disebabkan oleh beban sendiri balok dan beban – beban di atas balok sehingga menghasilkan gaya geser / lintang sebesar R_A / R_B ke atas.

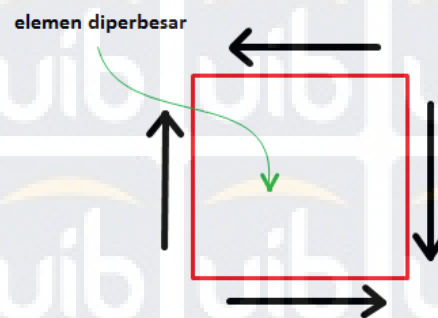


(a) Elemen pada balok

Gambar 2.10 Retak Balok Akibat Gaya Geser (Elemen pada Balok)

Elemen beton yang diperbesar akibat gaya lintang R_A sesuai gambar

2.11 sebagai berikut:



(b) Gaya geser di sekitar elemen

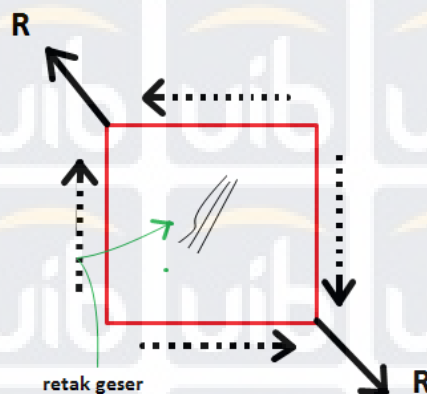
Gambar 2.11 Retak Balok Akibat Gaya Geser (Gaya Geser disekitar Elemen)

1. Reaksi R_A yang arahnya keatas sehingga menyebabkan gaya geser pada sebelah kiri elemen permukaan bidang beton yang arahnya ke atas juga.
2. Dalam keadaan stabil pada elemen beton maka terjadinya keseimbangan gaya vertikal sehingga pada sebelah kanan elemen permukaan bidang juga menghasilkan gaya geser arah bawah.
Gaya geser yang dihasilkan memiliki nilai yang sama tetapi berlawanan arah.

3. Diakibatkan kedua gaya geser yang berlawanan arah pada permukaan bidang elemen beton sehingga timbul momen searah jarum jam.

4. Dalam keadaan stabil pada elemen beton maka terjadinya keseimbangan momen sehingga menghasilkan momen arah berlawanan jarum jam untuk melawan momen searah jarum jam pada poin nomor 3.

5. Untuk menghasilkan momen arah berlawanan jarum jam maka pada permukaan elemen beton bagian atas dan bawah akan menghasilkan gaya geser ke kiri dan ke kanan. Gaya geser yang dihasilkan memiliki nilai yang sama dan seimbang.



(c) Resultante R dan retak geser

Gambar 2.12 Retak Balok Akibat Gaya Geser (*Resultant R dan Retak Geser*)

Pada gambar 2.12 akan terjadi keadaan berikut:

1. Terbentuknya *resultant* R dengan arah miring ke kiri – atas yang dihasilkan oleh permukaan kiri dan atas elemen beton dengan gaya geser ke atas dan ke kanan.
2. Terbentuknya *resultant* R dengan arah miring ke kanan – bawah yang dihasilkan oleh gaya geser ke kiri dan ke bawah pada permukaan elemen beton bawah dan kanan.
3. *Resultant* yang dihasilkan oleh poin nomor 1 dan 2 di atas memiliki nilai yang sama dengan arah yang berlawanan dan tarik menarik.
4. Elemen beton akan retak dengan arah miring (45°) karena sifat beton yang tidak kuat dalam memikul gaya tarik yang dihasilkan dari *resultant* tersebut.

2.14.2 Pemasangan Tulangan Geser

Tulangan geser menurut cara pemasangan memiliki 3 jenis yang dibedakan berdasarkan jumlah kakinya sesuai gambar 2.13.



(a). Begel 2 kaki

(b). Begel 3 kaki

(c). Begel 4 kaki

Gambar 2.13 Berbagai Jenis Begel pada Balok

2.15 Perencanaan Tulangan Geser / Begel Balok

2.15.1 Pertimbangan dalam Perhitungan Tulangan Geser / Begel

Sesuai beberapa pasal di SNI 03-2847-2002, persamaan dasar yang digunakan untuk perhitungan tulangan geser balok yaitu:

1. SNI 03-2847-2002 Pasal 13.1.1, gaya geser rencana, nominal, yang ditahan beton dan yang ditahan begel dirumuskan:

$$V_r = \phi \cdot V_n \text{ dan } \phi \cdot V_n \geq V_u$$

$$V_n = V_c + V_s$$

dengan:

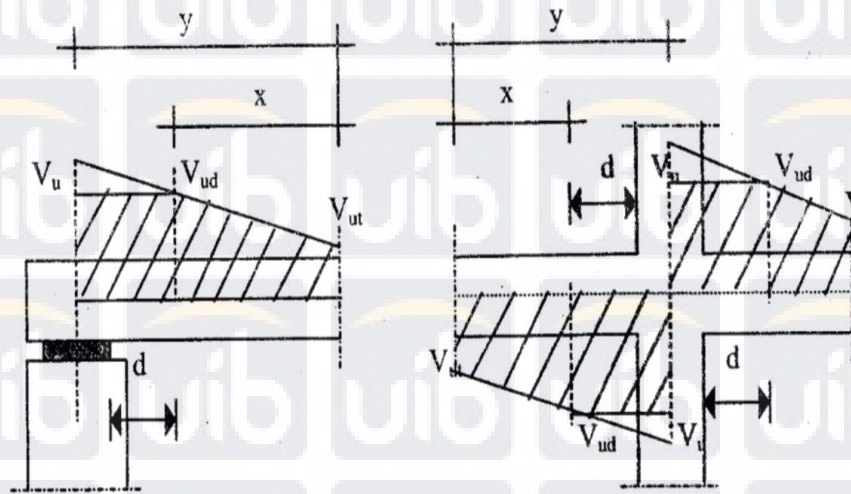
V_c = Gaya geser yang ditahan oleh beton, kN.

V_s = Gaya geser yang ditahan oleh begel, kN.

V_r = Gaya geser rencana, kN.

V_n = Kuat geser nominal, kN.

2. SNI 03-2847-2002 Pasal 13.1.3.1, V_u adalah nilai yang diambil dari jarak d (V_{ud}) dari permukaan kolom (gambar 2.13) berikut:



Gambar 2.14 Lokasi Geser Maksimal (V_{ud}) untuk Perencanaan

3. Menurut pasal 13.3.1 SNI 03-2847-2002, gaya geser yang ditahan beton (V_c) dapat dirumuskan berikut:

$$V_c = 1/16 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

4. Pasal 13.5.6.1 SNI 03-2847-2002, berdasarkan poin 1 dan 2 di atas beton menahan gaya geser dengan persamaan di bawah ini :

$$V_s = (V_u - \phi \cdot V_c) / \phi$$

5. Sesuai Pasal 13.5.6.6 SNI 03-2847-2002:

$$V_s \text{ harus } \leq \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

Jika $V_s > \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$, maka ukuran balok harus diperbesar.

6. Sesuai SNI 03 – 2847 - 2002, ada tiga persamaan luas tulangan geser per meter panjang balok ($A_{v,u}$). Dari persamaan tersebut mengambil nilai yang paling besar dari persamaan yang di bawah

ini :

a. Pasal 13.5.5.3, dengan

$$A_{v,u} = \frac{75 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot S}{1200 \cdot f_y}$$

b. Pasal 13.5.5.3, dengan

$$A_{v,u} = \frac{b \cdot S}{3 \cdot f_y}$$

c. Pasal 13.5.6.2, dengan

$$A_{v,u} = \frac{V_s \cdot S}{f_y \cdot d}$$

dengan S = Panjang balok 1000 mm.

7. Jarak begel (s) dirumuskan sebagai berikut:

$$s = \frac{n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot dp^2 \cdot S}{A_{v,u}}$$

Dengan syarat – syarat sebagai berikut:

a. Pasal 13.5.4.1 untuk $V_s < 1/3 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$, maka $s \leq d/2$ dan $s \leq 600$ mm.

b. Pasal 13.5.4.3 untuk $V_s > 1/3 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$, maka $s \leq d/4$ dan $s \leq 300$ mm.

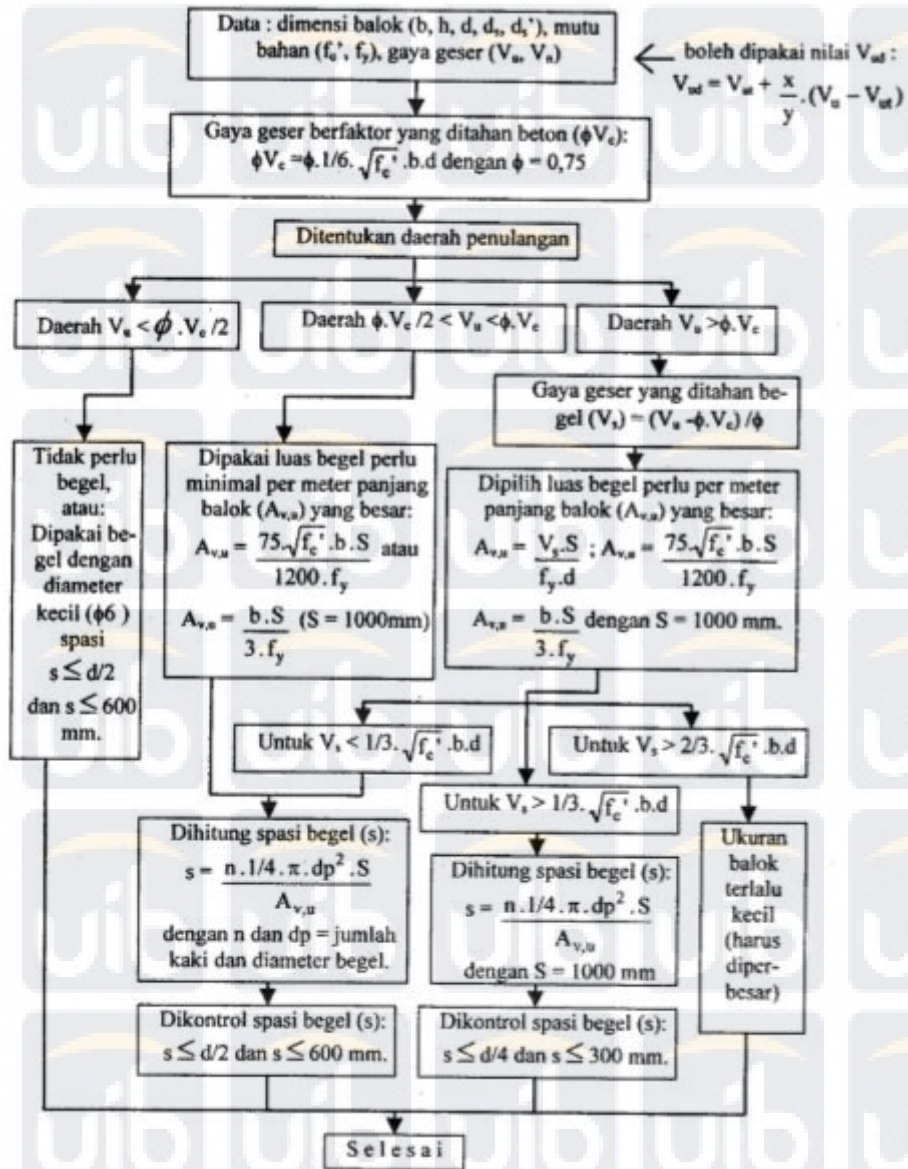
dengan :

dp = Diameter begel dari tulangan polos, mm.

n = Jumlah kaki begel (2,3 atau 4 kaki)

2.15.2 Skema Hitungan Begel Balok

Berikut adalah tahap – tahap perhitungan tulangan begel balok dengan skema hitungan seperti gambar 2.14.



Gambar 2.15 Skema Hitungan Begel Balok