

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Umum

Perencanaan merupakan bagian yang terpenting dari pembangunan suatu Gedung atau bangunan lainnya. Perencanaan suatu konstruksi harus memenuhi berbagai syarat konstruksi yang telah ditentukan, yaitu :

a. Kuat

Struktur Gedung harus dapat memikul beban dengan aman.

b. Kokoh

Struktur Gedung tidak boleh mengalami perubahan melebihi batas ijin.

c. Ekonomis

Setiap konstruksi yang dibangun harus semurah mungkin dan disesuaikan dengan biaya yang ada tanpa mengurangi mutu dan kekuatan bangunan.

d. Artistic (Estetika)

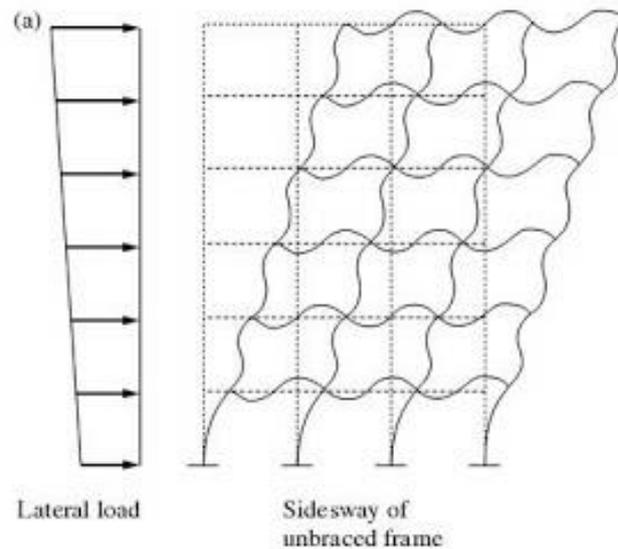
Konstruksi yang dibangun harus memperhatikan aspek-aspek keindahan, tata letak dan bentuk sehingga orang yang menempatnya akan merasa aman dan nyaman.

2.1.1 Syarat-syarat suatu struktur bangunan :

a. Kekakuan (*Stiffnes*)

Suatu struktur harus memiliki kekakuan yang cukup sehingga pergerakannya dapat dibatasi. Kekakuan struktur dapat diukur dari besarnya simpangan antar lantai (*drift*) bangunan, semakin kecil simpangan struktur maka bangunan tersebut akan semakin kaku (Smith

and Coull, 1991). Kekakuan bahan itu sendiri dipengaruhi oleh modulus elastisitas bahan dan ukuran elemen tersebut. Dan modulus elastisitas berbanding lurus dengan kekuatan bahan, semakin kuat bahan maka bahan tersebut juga semakin kaku.



Gambar 2. 1 Contoh kekakuan

b. Kekuatan (*Strength*)

Syarat kekuatan ini mencakup seluruh elemen struktur, baik pelat, kolom maupun balok. Cara mengeceknya pun sesuai dengan perilaku elemen-elemen tersebut.

- Kolom

Mencari diagram interaksi dan menentukan titik P_u , M_u maksimum pada diagram interaksi tersebut, jika titik tersebut berada diluar dan dibawah keadaan balance, maka terjadi kegagalan tarik. Jika berada diluar sebelah atas keadaan balance

maka terjadi kegagalan tekan. Untuk gambar diagram interaksi dapat dilihat pada **Gambar 2.20**

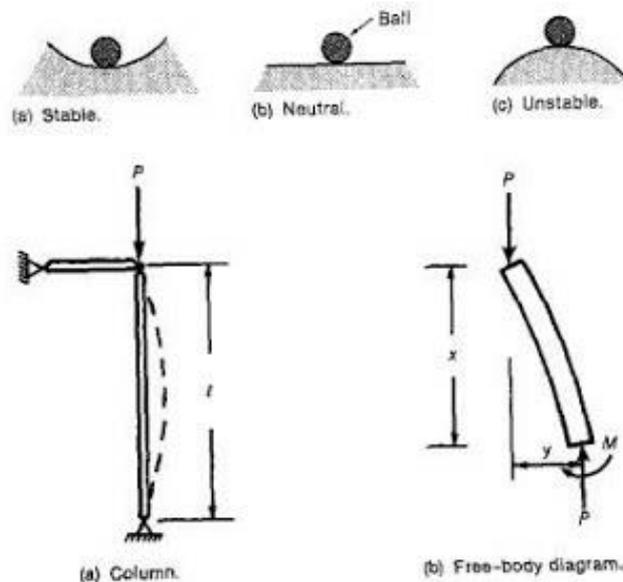
- Balok dan Pelat

Mengukur kemampuan balok dengan ukuran dan tulangan terpasang kemudian bandingkan dengan momen yang terjadi, bila momen kapasitas balok diatas momen yang terjadi dilapangan, baik itu tekan maupun tarik maka balok dan pelat tersebut aman.

Untuk gambar bias dilihat pada **Gambar 2.12**

c. Stabilitas (*Stability*)

Konsep pemeriksaan kestabilan ini dikemukakan oleh Mac Gregor dalam bukunya yang berjudul Reinforced Concrete, Mecjanics and Design pada tahun 1997. Dalam bukunya tersebut beliau mengemukakan konsep kestabilan struktur seperti sebuah bola yang berada pada suatu tempat dengan keadaan tertentu.



Gambar 2. 2 Contoh Stabilitas (*Stability*)

Pada gambar pertama diatas, keadaan (a) menunjukkan keadaan yang stabil, yang berarti bahwa walaupun bola dapat bergerak namun tetap dapat kembali pada keadaan semula. Sedangkan keadaan (b) menunjukkan keadaan yang kurang stabil karena ketika bola tersebut bergerak belum tentu bola tersebut akan kembali pada keadaan semula. Sedangkan keadaan (c) menunjukkan keadaan yang tidak stabil, dimana bila sedikit saja bola terkena gaya dan bergerak maka bola tersebut akan langsung jatuh. Konsep ini dapat diterapkan pada kolom yang merupakan struktur utama penopang gedung. Kolom tersebut dapat mengalami tekuk atau *buckling*, keadaannya pun berbeda-beda, namun jika kolom tersebut dapat kembali pada keadaan semula maka kolom tersebut dapat dikatakan stabil. Lalu bagaimana suatu kolom dapat kembali pada keadaan semula setelah mengalami tekuk ? Kolom beton bertulang mempunyai daya untuk menahan gaya (tekan) yang menyebabkan tekuk, berbeda dengan kekuatan, karena gaya yang menyebabkan tekuk bergantung pada panjang kolom bukan hanya ukuran kolom. Sehingga factor yang mempengaruhi daya kestabilan itu adalah EI (modulus elastisitas dan momen inersia) dan h (panjang kolom), dan rumusnya adalah :

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(kl)^2}$$

Jika P_u maksimum yang terjadi pada kolom kurang dari hasil P_c kolom tersebut, maka dapat dikatakan bahwa kolom tersebut stabil dan

sebaliknya jika P_u maksimum melebihi hasil dari P_c kolom tersebut maka kolom tersebut dapat dikatakan kurang stabil.

(cv-yufakaryamandiri.blogspot.com – Syarat-syarat struktur Bangunan gedung Beton bertulang lantai banyak)

d. Ketahanan Terhadap Lingkungan (*Durability*)

Untuk ketahanan suatu struktur gedung bertingkat terhadap lingkungan yakni harus memperhatikan kesehatannya, suatu perencanaan bangunan harus memperhatikan kebersihan dan kesehatan lingkungannya, untuk menjaga kesehatan maka factor-faktor yang harus diperhatikan adalah :

- Tersedianya pembuangan air kotor dan kotoran (sanitasi)
- Pembuangan sampah/limbah yang lain
- Memperhatikan pencahayaan, penghawaan, suhu udara serta kelembaban dalam ruangan.

2.2 Struktur Beton Bertulang

Menurut SNI 2837:2013 pasal 2.2 Beton bertulang (*Reinforced concrete*) adalah Beton struktural yang ditulangi dengan tidak kurang dari jumlah baja prategang atau tulang non-prategang minimum yang ditetapkan dalam pasal 1 sampai 21 dan lampiran A sampai C.

2.3 Beban-beban yang Terjadi pada Struktur

Suatu struktur bangunan Gedung juga harus direncanakan kekuatannya terhadap suatu pembebanan, adapun jenis pembebanan antara lain :

2.3.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. (SNI-1727-2013:3)

Beban mati terdiri dari berat bahan dan konstruksi serta berat peralatan-layan tetap.

Tabel 2. 1 Berat Sendiri Bahan bangunan dan Komponen Gedung

Material Bangunan	Berat (kg/m³)
Baja	7850
Batu alam	2600
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat teumpuk)	1500
Batu karang (berat tumpuk)	700
Batu pecah	1450
Besi tuang	7250
Beton	2200
Beton Bertulang	2400
Kayu (kelas I)	1000
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1650
Pasangan bata merah	1700
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200
Pasangan batu cetak	2200
Pasangan batu karang	1450
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600
Pasir (jenuh air)	1800
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850
Tanah lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1700
Tanah lempung dan lanau (basah)	2000
Timah hitam	11400
Komponen Gedung	Kg/m²
Adukan, per cm tebal	
- Dari senmen	21
- Dari kapur, semen merah atau tras	17
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambahan, per cm tebal	14
Dinding pasangan bata merah	
- Satu bata	450
- Setengah bata	250

Dinding pasangan batako	
Berlubang :	
- Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200
- Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120
Tanpa lubang :	
- Tebal dinding 15 cm	300
- Tebal dinding 10 cm	200
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari :	
- Semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11
- Kaca, dengan tebal 3-5 mm	10
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m	7
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap	50
Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	40
Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa gordeng	10
Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11
<u>Catatan :</u>	
a. Nilai ini tidak berlaku untuk beton pengisi.	
b. Untuk beton getas, beton kejut, meton mampat, dan beton padat lain jenis, betar sendirinya harus ditentukan tersendiri.	
c. Nilai ini adalah rata-rata, untuk jenis-jenis kayu tertentu.	

Sumber : Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung SKBI-

1.3.53.1987

2.3.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan Gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. (SNI-1727-2003:4).

Beban hidup terdiri dari :

1. Beban Hidup Pada Lantai Gedung
 - A. Beban hidup pada lantai gedung harus diambil menurut tabel 2.2 kedalaman beban hidup tersebut sudah termasuk perlengkapan ruang sesuai dengan kegunaan lantai ruang yang bersangkutan. Beban-beban berat, misalnya lemari arsip, mesin, dan barang tertentu yang sangat berat harus ditentukan tersendiri.
 - B. Beban hidup yang ditentukan dalam pasal ini tidak perlu dikalikan dengan suatu koefisien kejut.
 - C. Lantai gedung diharapkan akan dipakai untuk berbagai tujuan, harus direncanakan terhadap beban hidup terberat yang mungkin dapat terjadi.

Tabel 2. 2 Beban Hidup pada Lantai Gedung

Beban Hidup	Berat (kg/m²)
a. Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam b7yy	200
b. Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	125
c. Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250
d. Lantai ruang olahraga	400 500
e. Lantai ruang dansa	500
f. Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain daripada yang disebut dalam a s/d e, seperti mesjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	400
g. Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap	500

atau untuk penonton yang berdiri	300
h. Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam c	500
i. Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam d, e, f dan g	250
j. Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam c, d, e, f dan g	400
k. Lantai untuk pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri, dengan minimum	800
l. Lantai gedung parkir bertingkat:	
- Untuk lantai bawah	400
- Untuk lantai tingkat lainnya	300
m. Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum	

Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung SKBI-

1.3.53.1987

2. Beban Hidup Pada Atap Gedung

- A. Beban hidup pada atap Gedung dan/atau bagian atap serta pada struktur tudung (canopy) yang dapat dicapai dan dibebani oleh orang minimum 100 kg/m².
- B. Beban terbagi rata per m² bidang datar berasal dari beban air hujan sebesar $(40-0,8\alpha)$ kg/m², dimana α sebagai sudut kemiringan atap dalam derajat, dengan ketentuan bahwa beban tersebut tidak perlu diambil lebih besar dari 20 kg/m² dan tidak perlu ditinjau bila kemiringan atap nya adalah lebih besar dari 50⁰.

2.3.3 Beban Angin

Semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih tekanan udara. (Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung SKBI – 1.3.53.1987).

Sedangkan untuk menghitung pengaruh angin pada struktur dengan mengacu pada Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung SKBI – 1.3.53.1987 dapat disyaratkan sebagai berikut.

1. Tekanan tiup harus diambil minimum 25 kg/m^2 .
2. Tekanan tiup di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum 40 kg/m^2 .
3. Untuk tempat-tempat dimana terdapat kecepatan angin yang mungkin mengakibatkan tekanan tiup yang lebih besar, tekanan tiup angin (p) dapat ditentukan berdasarkan rumus :

$$p = \frac{v^2}{16} (\text{kg} / \text{m}^2) \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana v adalah kecepatan angin (m/detik).

2.3.4 Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal ini pengaruh gempa pada struktur Gedung ditentukan berdasarkan suatu analisis dinamik, maka diartikan dengan beban

gempa disini adalah gaya-gaya dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu (Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung SKBI – 1.3.53.1987).

1. Geser Dasar Seismik

Beban gempa di dapat dari hasil perhitungan gaya geser dasar seismik V yang diperoleh dari rumus :

$$V = C_s \cdot W \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

2. Perhitungan Koefisien Respons Seismic

Koefisien respons seismik C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_c}\right)} \dots\dots\dots (2.3)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter percepatan spectrum respons desain dalam rentang
periode pendek

R = faktor modifikasi respons

I_c = faktor keutamaan gempa

3. Distribusi Vertical Gaya Gempa

Pada Distribusi vertikal gaya gempa, gaya gempa lateral (F_x) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx} \cdot V \dots\dots\dots (2.4)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, dinyatakan dalam kilonewton (kN)

w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x , dinyatakan dalam meter (m)

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

- i.* untuk struktur yang mempunyai peropda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$
- ii.* untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

4. Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Sedangkan pada distribusi horizontal gaya gempa, geser tingkat desain gempa di semua tingkat (V_x) (kN) harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

- i.* F_i adalah bagian dari geser dasar seismic (V) yang timbul di tingkat i , dinyatakan dalam kilo newton (kN).
- ii.* Geser tingkat desain gempa (V_x) (kN) harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal system penahan gaya gempa di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relative elemen penahan vertikal dan diagfragma.

2.3.5 Beban Khusus

Beban khusus adalah semua beban yang bekerja pada Gedung atau bagian Gedung yang terjadi akibat selisih suhu, pengangkatan dan pemasangan, penurunan pondasi, susut, gaya-gaya tambahan yang berasal dari beban hidup seperti gaya rem yang berasal dari keran, gaya sentrifugal dan gaya dinamis yang berasal dari mesin-mesin, serta pengaruh-pengaruh khusus lainnya. (Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung SKBI – 1.3.53.1987)

2.4 Provisi keamanan

Struktur dan komponen struktur harus didesain agar mempunyai kekuatan desain disemua penampang paling sedikit sama dengan kekuatan perlu yang dihitung untuk beban dan gaya terfaktor dalam kombinasi sedemikian rupa seperti diteiapkan dalam standar ini. (SNI-2847-2013:9)

Kapasitas cadangan ini mencakup factor pembebanan (U), yaitu untuk memperhitungkan pelampauan beban dan factor reduksi (ϕ), yaitu untuk memperhitungkan kurangnya mutu bahan di lapangan. Pelampauan beban dapat

terjadi akibat perubahan dari penggunaan untuk apa struktur direncanakan dan penafsiran yang kurang tepat dalam memperhitungkan pembebanan. Sedangkan kekurangna kekuatan dapat diakibatkan oleh variasi yang merugikan dari kekuatan bahan, pengerjaan, dimensi, pengendalian dan tingkat pengawasan.

2.4.1 Kekuatan Perlu

Untuk kekuatan yang diperlukan disebut sebagai kuat perlu dan diberi symbol U . menurut SNI-2847-2013 pasal 9.2.1 kekuatan perlu U harus paling tidak sama dengan pengaruh beban terfaktor. Pengaruh salah satu atau lebih beban yang tidak bekerja secara serentak harus diperiksa beban S (salju) dalam persamaan-persamaan dibawah ini.

$$U = 1,4D \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

$$U = 1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (1,0 Lr \text{ atau } 0,5W) \quad \dots\dots\dots (2-9)$$

$$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \quad \dots\dots\dots (2-10)$$

$$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L \quad \dots\dots\dots (2-11)$$

$$U = 0,9D + 1,0W \quad \dots\dots\dots (2-12)$$

$$U = 0,9D + 1,0E \quad \dots\dots\dots (2-13)$$

Kecuali sebagai berikut :

1. Faktor beban pada beban hidup L dalam pers (2-9) sampai (2-11) diizinkan direduksi sampai 0,5 kecuali untuk garasi, luasan yang ditempati sebagai tempat publik, dan semua luasan dimana L lebih besar dari $4,8 \text{ kN/m}^2$.

2. Bila W didasarkan pada beban angin tingkat layan, $1,6W$ harus digunakan sebagai pengganti $1,0W$ dalam pers. (2-10_ dan (2-12), dan $0,8W$ harus digunakan sebagai pengganti dari $0,5W$ dalam pers. (2-9).
3. Dihilangkan karena tidak relevan, lihat daftar deviasi.

2.4.2 Kekuatan Desain

Kuat rencana suatu komponen struktur sehubungan dengan perilaku lentur, beban normal, geser, dan torsi harus diambil sebagai hasil kali kuat nominal yang dihitung dengan suatu factor reduksi kekuatan ϕ . Faktor reduksi ini disesuaikan dengan SNI 2847-2013 pasal 9.3.2.

Faktor reduksi kekuatan ϕ meliputi :

1. Penampang terkendali Tarik : 0,90
2. Penampang terkendali tekan
 - a. Komponen struktur dengan tulang spiral : 0,75
 - b. Komponen struktur bertulang lainnya : 0,65
3. Geser dan torsi : 0,75
4. Tumpuan pada beton kecuali daerah angkur : 0,65
5. Daerah angkur pasca Tarik : 0,85
6. Model strata dan pengikat (Lampiran A), dan strat, pengikat, daerah pertemuan (*nodal*), dan daerah tumpuan dalam model tersebut : 0,75
7. Penampang lentur dalam komponen struktur pratarik
 - a. Dari ujung komponen struktur ke ujung Panjang transfer : 0,75
 - b. Dari ujung Panjang transfer ke ujung panjang penyaluran ϕ : 0,75

boleh ditingkatkan secara linier -0,9

2.5 Perencanaan Struktur Atas

2.5.1 Pelat Lantai

Pelat adalah elemen horizontal struktur yang mendukung beban mati maupun beban hidup dan menyalurkannya ke rangka vertikal dari sistem struktur. Pelat beton bertulang ini sangat kaku dan arahnya horizontal, sehingga pada bangunan gedung, pelat ini berfungsi sebagai diafragma/unsur pengaku horizontal yang sangat bermanfaat untuk mendukung ketegaran balok portal.

Pelat menerima beban yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan pelat. Berdasarkan kemampuannya untuk menyalurkan gaya akibat beban, pelat dibedakan menjadi :

1. Pelat satu arah

Pelat satu arah adalah pelat dengan tulangan pokok satu arah yang akan dijumpai jika pelat beton lebih dominan menahan beban yang berjumpa momen lentur pada bentang satu arah saja.

Menurut SNI 2847:2013 pasal 9.5 Bila lendutan harus dihitung, maka lendutan yang terjadi seketika sesudah bekerjanya beban harus dihitung dengan metoda atau formula standar untuk lendutan elastis, dengan memperhitungkan pengaruh retak dan tulangan terhadap kekakuan komponen struktur.

Tabel 2. 3 Tebal minimum balok nonprategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

Tebal minimum, h				
Komponen struktur	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau pelat rusuk satu-arah	1/16	2/18,5	1/21	1/8

Sumber SNI 2847:2013 pasal 9.5

CATATAN :

Panjang bentang dalam mm.

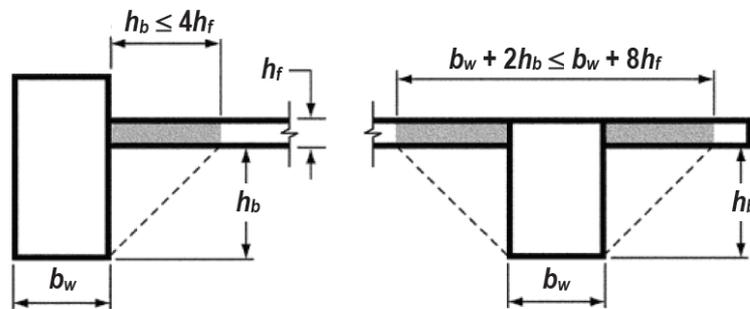
Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasi sebagai berikut :

- a. Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*), W_c , di antara 1440 sampai 1840 kg/m³, nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65-0,0003W_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09.
- b. Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.

2. Pelat dua arah

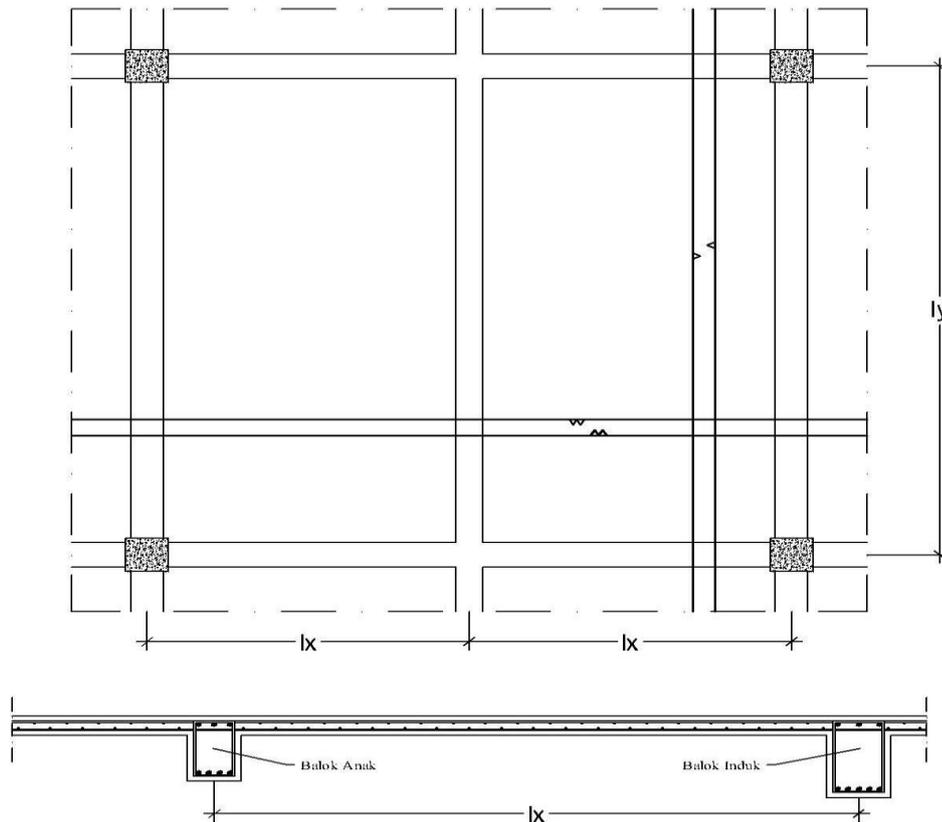
Ketentuan Pasal 13 SNI 2847:2013 berlaku untuk Pelat dua arah dengan tulangan pokok dua arah yang akan dijumpai jika pelat beton menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang dua arah.

Untuk konstruksi monolit, atau komposit penuh, suatu balok mencakup bagian slab pada setiap sisi balok yang membentang dengan jarak yang sama dengan proyeksi balok di atas atau di bawah slab tersebut, yang mana yang lebih besar, tetapi tidak lebih besar dari empat kali tebal slab.



Gambar 2.3 Contoh bagian slab yang disertakan dengan balok

Luas tulangan slab dalam masing-masing arah untuk sistem slab dua arah harus ditentukan dari momen-momen pada penampang kritis, tetapi tidak boleh kurang dari yang disyaratkan.



Gambar 2.4 Penulangan pada pelat

Pelat lantai yang dirancang adalah pelat lantai dua arah yang didukung pada keempat sisinya. Untuk memudahkan perancangan akan digunakan tabel dari grafik dan hitungan beton bertulang berdasarkan **SNI-2847-2013**.

A. Penentuan Tebal Pelat

Syarat tebal pelat minimum menurut **SNI-2847-2013** adalah sebagai berikut :

1. Untuk $\alpha_m \leq 0,2$ ketebalan pelat minimum adalah sebagai berikut ini:
 - a. pelat tanpa penebalan : 120 mm
 - b. pelat dengan penebalan : 100 mm
2. Untuk $0,2 \leq \alpha_m \leq 2,0$ ketebalan pelat minimum harus memenuhi persamaan sebagai berikut ini:

$$h = \frac{\ell_n \left[0,8 + \frac{f_y}{1400} \right]}{36 + 5 \cdot \beta \cdot (\alpha_m - 0,2)} \dots\dots\dots (2.14)$$

dan tidak boleh kurang dari 120 mm

3. Untuk $\alpha_m \geq 2,0$ ketebalan pelat minimum harus memenuhi persamaan sebagai berikut ini:

$$h = \frac{\ell_n \left[0,8 - \frac{f_y}{1400} \right]}{36 - 9 \cdot \beta} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

dengan:

h = tebal pelat minimum (cm).

f_y = tulangan leleh baja tulangan (MPa).

α = rasio kekuatan lentur penampang balok terhadap kuat lentur pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis sumbu tengah dari panel-panel yang bersebelahan (bila ada) pada tiap sisi balok.

α_m = nilai rata-rata α untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel.

β = rasio bentang bersih dalam suatu arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah.

ℓ_n = panjang bentang bersih dalam arah memanjang dari konstruksi dua arah, diukur dari muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lain pada kasus lainnya.

- d. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α tidak kurang dari 0,8.

$$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cp} \cdot I_p} \dots\dots\dots (2.16)$$

dengan:

E_{cb} = modulus elastisitas balok beton

E_{cp} = modulus elastisitas pelat beton

I_b = momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok

I_p = momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat

- B. Menghitung beban yang bekerja pada pelat (beban mati dan beban hidup).

$$W_u = 1,2W_D + 1,6W_L \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan:

W_u = beban ultimit

W_D = beban mati

W_L = beban hidup

- C. Mencari tebal efektif pelat

Untuk menentukan tinggi efektif pelat ditinjau dari dua arah yaitu :

$$\text{Arah X } dx = h - p - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan arah x } \dots\dots\dots(2.18)$$

$$\text{Arah Y } dy = h - p - \emptyset x - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan arah y } \dots\dots\dots(2.19)$$

- D. Mencari Momen

Mencari momen yang bekerja pada arah x dan y, dengan menggunakan table.

		l_y / l_x	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	>2,5	
I		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	125	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	25	
II		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	21	25	28	31	34	36	37	40	40	40	41	41	41	42	42	42	42	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	21	21	20	19	18	17	16	14	13	12	12	11	11	11	10	10	8	
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	52	59	64	69	73	76	79	81	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83
		$M_{ty} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	52	54	56	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
III		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	28	33	38	42	45	48	51	53	55	57	58	59	59	60	61	61	63	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	28	28	28	27	26	25	23	23	22	21	19	18	17	17	16	16	13	
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	68	77	85	92	98	103	107	111	113	116	118	119	120	121	122	122	125	
		$M_{ty} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	68	72	74	76	77	77	78	78	78	78	79	79	79	79	79	79	79	79
IVA		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	22	28	34	42	49	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	32	35	37	39	40	41	41	41	41	40	39	38	37	36	35	35	25	
		$M_{ty} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	70	79	87	94	100	105	109	112	115	117	119	120	121	122	123	123	125	
IVB		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	32	34	36	38	39	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	10	9	9	9	9	8	
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	70	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	84	83	83	83	83	83
VA		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	31	38	45	53	60	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	37	39	41	41	42	42	41	41	40	39	38	37	36	35	34	33	25	
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	84	92	99	104	109	112	115	117	119	121	122	122	123	123	124	124	125	
VB		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	37	41	45	48	51	53	55	56	58	59	60	60	60	61	61	62	63	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15	13	
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	84	92	98	103	108	111	114	117	119	120	121	122	122	123	123	124	125	
VIA		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	21	26	31	36	40	43	46	49	51	53	55	56	57	58	59	60	63	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	26	27	28	28	27	26	25	23	22	21	21	20	20	19	19	18	13	
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	55	65	74	82	89	94	99	103	106	110	114	116	117	118	119	120	125	
		$M_{ty} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	60	65	69	72	74	76	77	78	78	78	78	78	78	78	78	78	79	79
VIB		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	26	29	32	35	36	38	39	40	40	41	41	42	42	42	42	42	42	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	11	11	10	10	10	10	8	
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	60	66	71	74	77	79	80	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
		$M_{ty} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	55	57	57	57	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57

Keterangan : = Terletak bebas
 = Terjepit penuh

Gambar 2. 5 Momen Didalam Pelat yang Menumpu pada Keempat Tepinya
 Akibat Beban Terbagi Rata

Sumber Ali Asroni

E. Mencari nilai koefisien tahanan (k)

$$k = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan:

K = koefisien tahanan

M = momen yang ditinjau

b = lebar permeter pelat

d = tinggi efektif pelat

F. Mencari luas tulangan (As)

Sebelum menentukan luas tulangan terlebih dahulu meninjau nilai ρ yang didapat. Menghitung tulangan dengan syarat $\rho_{min} < \rho \leq \rho_{maks}$.

Jika $\rho < \rho_{min}$, maka menggunakan ρ_{min} maka As yang digunakan As_{min}

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

Jika $\rho > \rho_{mak}$, maka pelat dibuat lebih tebal sehingga dilakukan perhitungan ulang

2.5.2 Balok

Balok adalah elemen struktur yang didesain untuk menahan gaya-gaya yang bekerja secara transversal terhadap sumbunya sehingga mengakibatkan terjadinya momen lentur dan gaya geser sepanjang bentangnya.

Berdasarkan jenis keruntuhan yang dialami, apakah akan terjadi leleh tulangan tarik ataukah hancurnya beton yang tertekan dapat dikelompokkan ke dalam tiga kelompok sebagai berikut:

1. Penampang *balanced*. Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diizinkan pada serat tepi yang tertekan adalah 0,003, sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya, yaitu $\epsilon_y = \frac{f_y}{Ec}$.
2. Penampang *over-reinforced*. Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada awal keruntuhan, regangan baja ϵ_s yang terjadi masih lebih

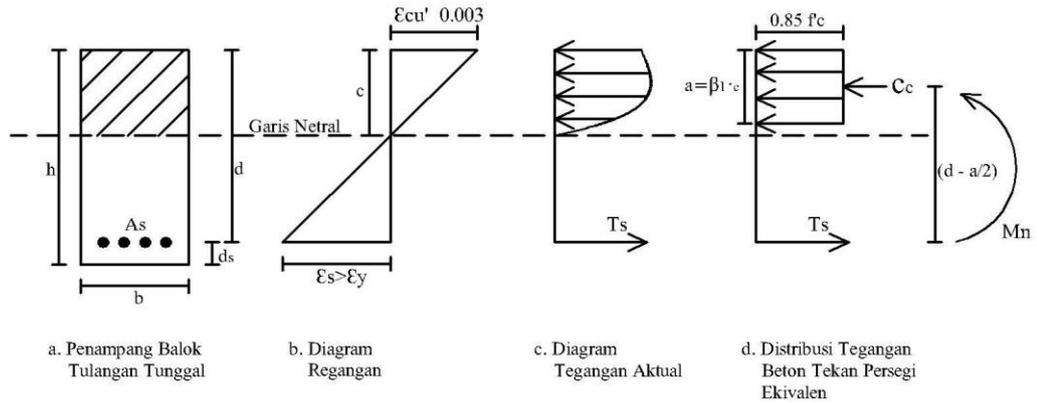
kecil daripada regangan lelehnya ε_y . Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak daripada yang diperlukan dalam keadaan *balanced*.

3. Penampang *under-reinforced*. Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja. Tulangan baja ini terus bertambah panjang dengan bertambahnya regangan di atas ε_y . Kondisi penampang yang demikian dapat terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi *balanced*.

Keruntuhan pada beton mendadak karena beton adalah material yang getas. Dengan demikian hampir semua peraturan perencanaan merekomendasikan perencanaan balok dengan tulangan yang bersifat *under-reinforced* untuk memberikan peringatan yang cukup, seperti defleksi yang berlebihan, sebelum terjadinya keruntuhan. Penampang balok ditentukan sesuai persyaratan SNI-2847-2013.

2.5.2.1 Balok Persegi Panjang dengan Tulangan Tunggal

Balok dengan tulangan tunggal sering juga disebut dengan balok bertulangan sebelah atau balok dengan tulangan saja. Untuk keperluan hitungan balok persegi panjang dengan tulangan tunggal, berikut ini dilukiskan bentuk penampang balok yang dilengkapi dengan distribusi regangan dan tegangan beton serta notasinya, seperti pada Gambar berikut:



Gambar 2. 6 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok

Keterangan notasi pada **Gambar 2.6** :

a : tinggi balok tegangan beton tekan persegi ekivalen $=\beta_1.c$, mm.

$$a = \beta_1.c \dots\dots\dots (2.21)$$

A_s : luas tulangan tarik, mm².

b : lebar penampang balok, mm.

c : jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan, mm.

C_c : resultan gaya tekan beton, kN.

d : tinggi efektif penampang balok, mm.

d_s : jarak antara titik berat tulangan tarik dan tepi serat beton tarik, mm.

$f'c$: tegangan tekan beton yang disyaratkan pada umur 28 hari, MPa.

E_s : modulus elastisitas baja tulangan, diambil sebesar 200.000 MPa.

f_s : tegangan tarik baja tulangan $= \epsilon_s \cdot E_s$, dalam MPa.

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s \dots\dots\dots (2.22)$$

f_y : tegangan tarik baja tulangan pada saat leleh, MPa.

h : tinggi penampang balok, mm.

M_n : momen nominal aktual, kNm.

T_s : resultan gaya tarik baja tulangan, kN.

β_1 : faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekuivalen, yang bergantung pada mutu beton ($f'c$) sebagai berikut (Pasal 10.2.5.3 **SNI-2847-2013**).

Untuk $17 \text{ MPa} \leq f'c \leq 28 \text{ MPa}$, maka $\beta_1 = 0,85$

Untuk $f'c > 28 \text{ MPa}$, maka $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \cdot (f'c - 28)}{7}$

tetapi $\beta_1 = 0,65$

ε_c' : regangan tekan beton,

dengan ε_c' maksimal (ε_{cu}') = 0,003

ε_s : regangan tarik baja tulangan.

ε_s' : regangan tekan baja tulangan.

$$\varepsilon_s' = \frac{a - \beta_1 \cdot d_s'}{c} \cdot 0,003 \dots \dots \dots (2.23)$$

ε_y : regangan tarik baja tulangan pada saat leleh,

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{f_y}{200000} \dots \dots \dots (2.24)$$

Jika balok menahan momen lentur cukup besar, maka pada serat-serat balok bagian atas akan mengalami tegangan tekan dan pada serat-serat balok bagian bawah mengalami tegangan tarik. Untuk serat-serat balok bagian atas yang mengalami tegangan tekan, tegangan ini akan ditahan oleh beton, sedangkan untuk serat-serat balok yang mengalami tegangan tarik akan ditahan oleh baja tulangan, karena kuat tarik beton diabaikan. (Pasal 10.2.6. **SNI 2847 -2013**).

Pada perencanaan beton bertulang, diusahakan kekuatan beton dan baja agar dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya. Untuk beton, karena sangat kuat menahan beban tekan, maka dimanfaatkan kuat tekan beton jangan sampai melebihi batas runtuh pada regangan tekan beton maksimal (ϵ_{cu}') = 0,003. Sedangkan untuk baja tulangan tarik yang tertanam di dalam beton, dapat dimanfaatkan kekuatan sepenuhnya sampai mencapai batas leleh, yaitu tegangan tarik baja f_s sama dengan tegangan leleh f_y .

a. Gaya tekan beton

Gaya tekan beton dapat diperhitungkan dari hubungan tegangan – regangan beton, dengan blok tegangan tekan persegi ekuivalen dapat

dihitung besar gaya tekan beton C_c sebagai berikut :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_{c.a.b} \dots\dots\dots (2.25)$$

b. Gaya tarik baja tulangan

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

$$T_s = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2.26)$$

c. Luas tulangan longitudinal balok

Karena balok dalam keadaan seimbang, maka gaya tekan beton akan sama dengan gaya tarik baja tulangan, diperoleh luas tulangan balok (A_s) sebagai berikut :

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_{c.a.b}}{f_y} \dots\dots\dots (2.27)$$

Momen nominal dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$M_n = C_c \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \text{ atau } M_n = T_s \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (2.28)$$

Faktor momen pikul (K) didefinisikan diperoleh hitungan / persamaan berikut :

$$K = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \text{ atau } K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \dots\dots\dots (2.29)$$

Tinggi blok tegangan tegangan beton tekanan persegi ekuivalen pada kuat nominal balok dapat dihitung dengan rumus :

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f'c}} \right) \cdot d \dots\dots\dots (2.30)$$

Untuk regangan tekan beton ε_c' dibatasi sampai batas retak ε_{cu}' sebesar 0,003

.Nilai regangan ε_c' (bukan ε_{cu}') ini dapat ditentukan berdasarkan

diagram distribusi regangan didapat rumus :

$$\varepsilon_c' = \frac{a}{\beta_1 \cdot d - a} \cdot \varepsilon_y \dots\dots\dots (2.31)$$

Pada perencanaan / hitungan beton bertulang harus dipenuhi 2 syarat yaitu:

- 1) Momen rencana M_r harus \geq momen perlu M_u .
- 2) Regangan tekan beton ε_c' harus $\leq \varepsilon_{cu}'$ (0,003).

Untuk menghitung momen – momen rencana M_r dilaksanakan sebagai berikut :

- 1) Diperoleh tinggi blok tegangan tekan beton persegi ekuivalen sebagai berikut :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (2.32)$$

- 2) Moment rencana dihitung dengan persamaan :

$$M_r = \phi \cdot M_n, \text{ dengan } \phi = 0,8 \dots\dots\dots (2.33)$$

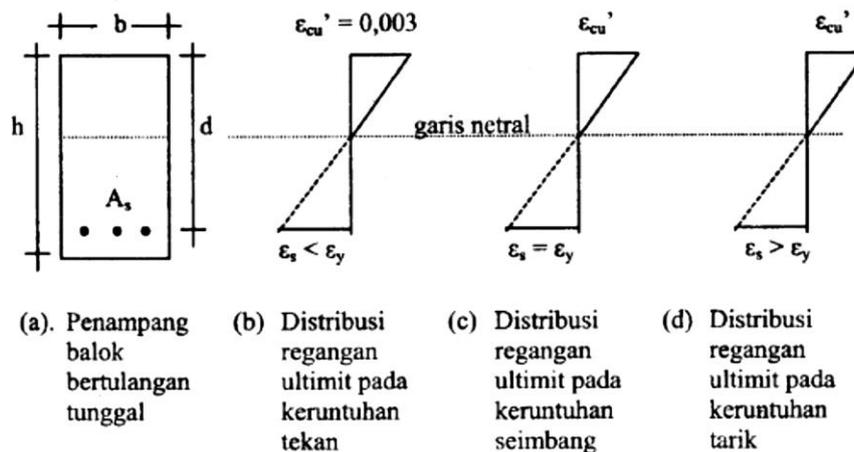
A. Keruntuhan lentur dan sistem perencanaan

1. Jenis keruntuhan lentur

Jenis keruntuhan yang dapat terjadi pada balok lentur bergantung pada sifat – sifat penampang balok dan dibedakan menjadi 3 jenis berikut:

- Keruntuhan tekan (*brittle failure*)
- Keruntuhan Seimbang (*balance*)
- Keruntuhan tarik (*ductile failure*)

Distribusi regangan pada penampang beton untuk ketiga jenis keruntuhan lentur tersebut dilukiskan seperti gambar berikut :



Gambar 2. 7 Distribusi Regangan Ultimit pada Keruntuhan Lentur

1. Keruntuhan tekan (*brittle failure*)

Pada keadaan penampang beton dengan keruntuhan tekan, beton hancur sebelum baja tulangan leleh. Hal ini berarti regangan tekan beton sudah melampaui regangan batas 0,003 tetapi regangan tarik baja tulangan belum mencapai leleh atau $\epsilon_c' = \epsilon_{cu}'$ tetapi $\epsilon_s < \epsilon_y$ seperti pada **Gambar 2.7** (b). Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini terjadi pada penampang dengan rasio tulangan (ρ) yang besar dan disebut *over-reinforced*.

Karena beton memiliki sifat yang kuat menahan beban tekan tetapi getas, maka keruntuhan beton seperti ini disebut keruntuhan tekan atau keruntuhan getas (*brittle failure*) pada balok yang mengalami keruntuhan getas, pada saat beton mulai hancur baja tulangnya masih kuat (belum leleh), sehingga lendutan pada balok relative tetap (tidak bertambah). Tetapi, jika di atas balok ditambah beban besar, maka baja tulangan akan meleleh dan dapat terjadi keruntuhan secara mendadak, tanpa ada tanda-tanda/peringatan tentang lendutan yang membesar pada balok. Keadaan demikian ini sangat membahayakan bagi kepentingan kelangsungan hidup manusia, sehingga sistem perencanaan beton bertulang yang dapat mengakibatkan *over-reinforced* tidak diperbolehkan.

2. Keruntuhan seimbang (*balance*)

Pada penampang beton dengan keruntuhan seimbang, keadaan beton hancur dan baja tulangan leleh terjadi bersamaan. Hal ini berarti regangan tekan beton mencapai regangan batas 0,003 dan regangan tarik baja tulangan mencapai leleh pada saat yang sama, atau $\varepsilon_c' = \varepsilon_{cu}'$ dan $\varepsilon_s = \varepsilon_y$ terjadi pada waktu yang sama, seperti pada **Gambar 2.7** (c). Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini terjadi pada penampang beton dengan rasio tulangan seimbang (*balance*). Rasio tulangan *balance* diberi notasi ρ_b .

Karena beton dan baja tulangan mengalami kerusakan pada saat yang sama, maka kekuatan beton dan baja tulangan dapat dimanfaatkan sepenuhnya, sehingga penggunaan material beton dan baja tersebut menjadi hemat. Sistem perencanaan beton bertulang yang demikian ini merupakan system perencanaan yang ideal, tetapi sulit dicapai karena dipengaruhi oleh beberapa faktor, misalnya : ketidaktepatan mutu baja dengan mutu baja rencana,

ketidaktepatan mutu beton dalam pelaksanaan pembuatan adukan dengan mutu beton rencana, maupun kekurangan dan ketelitian pada perencanaan hitungan akibat adanya pembulatan–pembulatan.

3. Keruntuhan tarik (*ductile failure*)

Pada keadaan penampang beton dengan keruntuhan tarik, baja tulangan sudah leleh sebelum beton hancur. Hal ini berarti regangan tarik baja tulangan sudah mencapai titik leleh tetapi regangan tekan beton belum mencapai regangan batas 0,003 atau $\varepsilon_s = \varepsilon_y$ tetapi $\varepsilon_c' < \varepsilon_{cu}'$, seperti terlihat pada **Gambar 2.7** (d). Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini terjadi pada penampang dengan rasio tulangan (ρ) yang kecil dan disebut dengan *under-reinforced*.

Karena kerusakan terjadi pada baja tulangan yang menahan beban tarik lebih dulu dan baja tulangan bersifat liat, maka keruntuhan beton seperti ini disebut keruntuhan tarik atau keruntuhan liat (*ductile failure*). Pada balok yang mengalami keruntuhan liat, pada saat baja tulangan mulai leleh betonnya masih kuat (belum hancur), sehingga dapat terjadi lendutan pada balok. Jika diatas balok ditambah lagi beban yang besar, maka lendutan balok semakin besar dan akhirnya dapat terjadi keruntuhan. Keadaan demikian ini “menguntungkan” bagi kepentingan kelangsungan hidup manusia, karena ada “peringatan” tentang lendutan membesar sebelum runtuh, sehingga system perencanaan beton bertulang yang *under-reinforced* ini lebih aman dan diperbolehkan.

4. Sistem perencanaan yang digunakan

Menurut peraturan beton Indonesia (**SNI 2847-2013**), sistem perencanaan beton bertulang dibatasi dengan 2 kondisi berikut :

- a. Agar tulangan yang digunakan tidak terlalu sedikit atau rasio tulangan ρ tidak terlalu kecil, diberikan syarat berikut (Pasal 10.5 SNI 2847 – 2013) :

$$A_s \text{ harus } \geq A_{s \text{ min}} \text{ atau } \rho \geq \rho_{\text{min}} \text{ dengan } \rho = \frac{A_s}{(b.d)} \dots\dots\dots (2.34)$$

dengan :

$$A_{s,\text{min}} = \frac{\sqrt{f'c}}{4.fy} .b.d \text{ atau}$$

$$A_{s,\text{min}} = \frac{1,4}{fy} .b.d \text{ (dipilih yang besar)} \dots\dots\dots (2.35)$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{\sqrt{f'c}}{4.fy} \text{ atau } \rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{fy}$$

$$\text{(dipilih yang besar)} \dots\dots\dots (2.36)$$

- b. Agar penampang beton dapat mendekati keruntuhan seimbang, diberikan syarat berikut (Pasal 10.3.6.3 SNI 2847 – 2013):

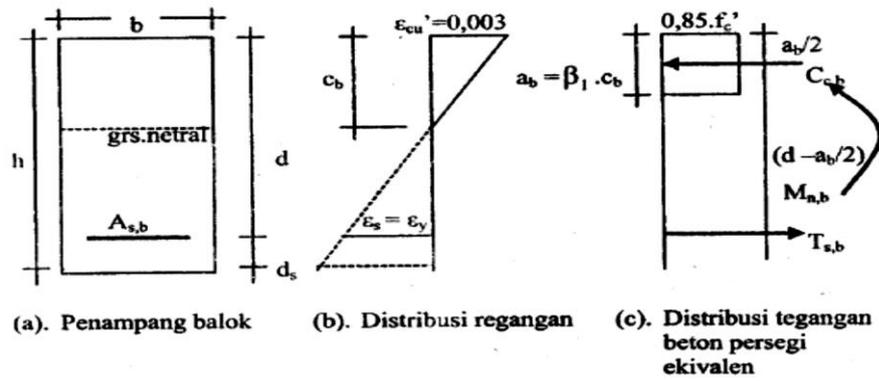
$$A_s \text{ harus } \leq A_{s \text{ min}} \text{ atau } \rho \leq \rho_{\text{min}} \text{ dengan } \rho = \frac{A_s}{(b.d)}$$

$$\text{dengan : } A_{s \text{ maks}} = 0,75 . A_{s,b} \text{ dan } \rho_{\text{maks}} = 0,75 . \rho_b \dots\dots\dots (2.37)$$

B. Tinjauan penampang beton pada keruntuhan seimbang

Pada tinjauan ini dilukiskan bentuk penampang balok dan diagram distribusi regangan maupun tegangan untuk kondisi keruntuhan seimbang (*balance*).

seperti pada Gambar berikut :



Gambar 2. 8 Penampang Beton pada Kondisi Keruntuhan *Balance*

Keadaan seimbang akan terjadi jika nilai :

$$\epsilon_c' = \epsilon_{cu}' = 0,003 \text{ dan } \epsilon_s = \epsilon_y \text{ atau } \epsilon_s = \frac{f_y}{E_s} = \frac{f_y}{200000}$$

Nilai c_b dapat dihitung dengan rumus :

$$c_b = \frac{600.d}{600 + f_y} \dots\dots\dots (2.38)$$

Nilai $a_b = \beta_1.c_b$, maka diperoleh juga rumus :

$$a_b = \frac{600.\beta_1.d}{600 + f_y} \dots\dots\dots (2.39)$$

Dalam keadaan seimbang nilai Tulangan dihitung dengan rumus :

$$A_{s,b} = \frac{0,85.f'c.a_b.b}{f_y} \dots\dots\dots (2.40)$$

Rasio tulangan balance :

$$\rho_b = \frac{510.\beta_1.f'c}{(600 + f_y).f_y} \dots\dots\dots (2.41)$$

Rasio tulangan maksimal dan minimal :

Penggunaan tulangan atau rasio tulangan pada system perencanaan beton

bertulang menurut **SNI 2847 – 2013** dibatasi oleh :

$$A_{s,\min} \leq A_s \leq A_{s,\max}, \text{ atau } \rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'c'}{(600 + fy) \cdot fy} \dots\dots\dots (2.42)$$

Untuk rasio tulangan minimal, diberi batasan sebagai berikut :

1. Untuk mutu beton $f'c \leq 31,36MPa$, maka :

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} \dots\dots\dots (2.43)$$

2. Untuk mutu beton $f'c \geq 31,36MPa$, maka :

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 \cdot fy} \dots\dots\dots (2.44)$$

Untuk rasio tulangan perlu :

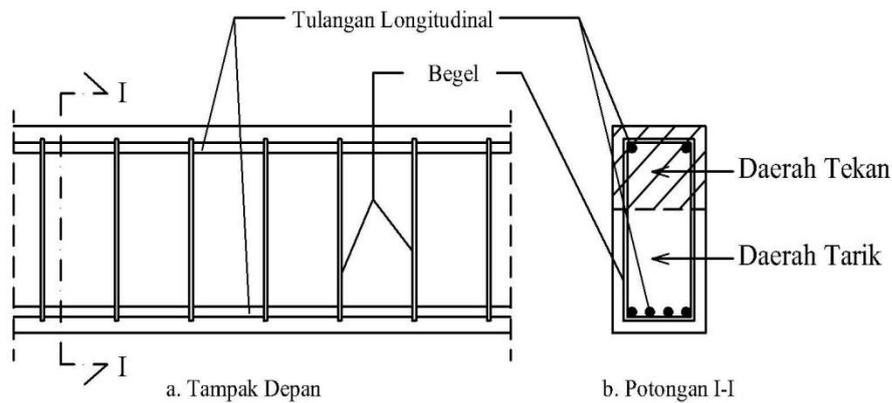
$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \dots\dots\dots (2.45)$$

Moment pikul maksimal (K_{\max}), dapat dicari dengan rumus :

$$K_{\max} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'c \cdot (600 + fy - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + fy)^2} \dots\dots\dots (2.46)$$

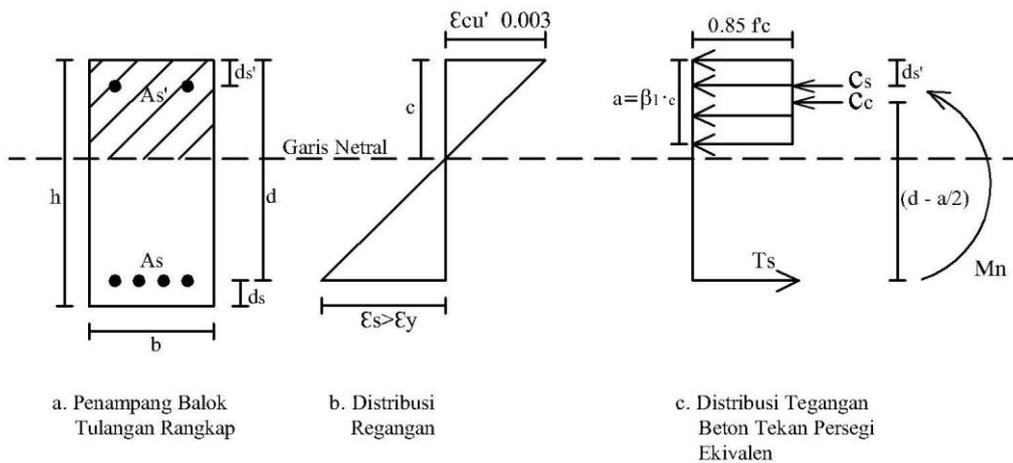
2.5.2.2 Balok Persegi Panjang dengan Tulangan Rangkap

Yang dimaksud dengan balok beton bertulangan rangkap ialah balok beton yang diberi tulangan pada penampang beton daerah tarik dan daerah tekan. Dengan dipasang tulangan pada daerah tarik dan tekan, maka balok akan lebih kuat dalam hal menerima beban yang berupa moment lentur.



Gambar 2. 9 Letak Tulangan pada Balok

Distribusi Regangan dan tegangan pada balok dengan penampang beton bertulangan rangkap :



Gambar 2. 10 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Tulangan Rangkap

Keterangan notasi pada **Gambar 2.10** :

a : tinggi balok tegangan beton tekan persegi ekuivalen = $\beta_1 \cdot c$, mm.

$$a = \beta_1 \cdot c \dots \dots \dots (2.47)$$

A_s : luas tulangan tarik, mm².

$A_{s'}$: luas tulangan tekan, mm².

b : lebar penampang balok, mm.

c : jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan, mm.

C_c : resultan gaya tekan beton, kN.

C_s : resultan gaya tekan baja tulangan, kN.

d : tinggi efektif penampang balok, mm.

d_s : jarak anatara titik berat tulangan tarik dan tepi serat beton tarik, mm.

d_s' : jarak anatara titik berat tulangan tekan dan tepi serat beton tekan, mm.

E_s : modulus elastisitas baja tulangan, diambil sebesar 200.000 MPa.

$f'c$: tegangan tekan beton yang disyaratkan pada umur 28 hari, MPa.

f_s : tegangan tarik baja tulangan = $\varepsilon_s \cdot E_s$, dalam MPa.

$$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s \dots\dots\dots (2.48)$$

f_s' : tegangan tekan baja tulangan = $\varepsilon_s' \cdot E_s$, dalam MPa.

f_y : tegangan tarik baja tulangan pada saat leleh, MPa.

h : tinggi penampang balok, mm.

M_n : momen nominal aktual, kNm.

T_s : resultan gaya tarik baja tulangan, kN.

β_1 : faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekuivalen, yang bergantung pada mutu beton ($f'c$) sebagai berikut (Pasal 10.2.5.3 **SNI 03 – 2847 – 2002**).

Untuk $17 \text{ MPa} \leq f'c \leq 28 \text{ MPa}$, maka $\beta_1 = 0,85 \dots\dots\dots (2.49)$

Untuk $f'c > 28 \text{ Mpa}$, maka $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \cdot (f'c - 28)}{7} \dots\dots\dots (2.50)$

tetapi $\beta_1 = 0,65 \dots\dots\dots (2.51)$

ε_c' : regangan tekan beton,

$$\text{dengan } \varepsilon_c' \text{ maksimal } (\varepsilon_{cu}') = 0,003 \dots\dots\dots (2.52)$$

ε_s : regangan tarik baja tulangan.

ε_s' : regangan tekan baja tulangan.

$$\varepsilon_s' = \frac{a - \beta_1 \cdot d_s'}{c} \cdot 0,003 \dots \dots \dots (2.53)$$

ε_y : regangan tarik baja tulangan pada saat leleh,

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{f_y}{200000} \dots \dots \dots (2.54)$$

Tegangan tekan baja tulangan f_s' dihitung dengan rumus :

$$f_s' = \frac{a - \beta_1 \cdot d_s'}{a} \cdot 600 \dots \dots \dots (2.55)$$

dengan ketentuan $f_s' \geq 0$

Jika $f_s' \geq f_y$, maka dipakai $f_s' = f_y$

Tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen (a) pada balok bertulangan rangkap dihitung dengan rumus :

$$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \dots \dots \dots (2.56)$$

Nilai momen nominal :

$$M_n = M_{nc} + M_{ns} \dots \dots \dots (2.57)$$

$$M_{nc} = C_c \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right), \text{ dengan } C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \dots \dots \dots (2.58)$$

$$M_{ns} = C_s (d - d_s'), \text{ dengan } C_s = A_s' f_s' \dots \dots \dots (2.59)$$

$$M_r = \phi \cdot M_n, \text{ dengan } \phi = 0,8 \dots \dots \dots (2.60)$$

dengan :

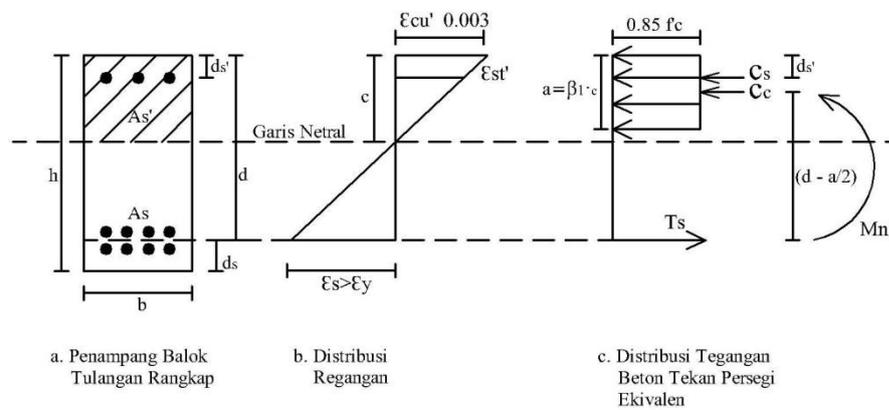
M_n = momen nominal aktual penampang balok, kNm.

M_{nc} = momen nominal yang dihasilkan oleh gaya tekan beton, kNm.

M_{ns} = momen nominal yang dihasilkan oleh gaya tekan tulangan, kNm.

M_r = momen rencana pada penampang balok, kNm.

Pada perencanaan beton bertulang, baja tulangan tarik dimanfaatkan kekuatannya sampai batas leleh, atau tegangan tulangan tarik (f_s) besarnya sama dengan tegangan leleh baja tulangan (f_y). Pada kenyataannya, tulangan tarik maupun tekan dapat dipasang lebih dari 1 baris, seperti pada Gambar berikut :



Gambar 2. 11 Distribusi Regangan pada Penampang Balok dengan Tulangan Tarik dan Tulangan Tekan Lebih dari 1 Baris

A. Untuk batas tulangan tarik leleh, dengan rumus – rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

Jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan :

$$c = \frac{0,003.d_d}{\frac{f_y}{200000} + 0,003} = \frac{600.d_d}{600 + f_y} \dots\dots\dots (2.61)$$

Tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen :

$$a_{maks,leleh} = \frac{600.\beta_1.d_d}{600 + f_y} \dots\dots\dots (2.62)$$

Untuk tulangan tarik yang tidak lebih dari 2 baris, praktis diambil :

$$d_d = d \dots\dots\dots (2.63)$$

B. Untuk batas tulangan tekan leleh, dengan rumus – rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

Jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan :

$$c = \frac{0,003.d_d}{\frac{f_y}{200000} - 0,003} = \frac{600.d_d}{600 - f_y} \dots\dots\dots (2.64)$$

Tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen :

$$a_{\min,leleh} = \frac{600.\beta_1.d_d}{600 - f_y} \dots\dots\dots (2.65)$$

Untuk tulangan tarik yang tidak lebih dari 2 baris, praktis diambil :

$$d_d = d_s' \dots\dots\dots (2.66)$$

C. Manfaat nilai a_{\max} leleh dan a_{\min} leleh pada hitungan beton bertulang

Nilai a_{\max} leleh dan a_{\min} leleh ini berguna untuk mengetahui kondisi tulangan tarik dan tulangan tekan pada suatu penampang balok beton, apakah semua tulangan tarik dan semua tulangan tekan sudah leleh atau belum.

Pada prinsip perencanaan balok beton bertulang, semua tulangan tarik diperhitungkan sudah leleh. Kondisi tulangan tarik sudah leleh atau belumnya dihitung dengan nilai a (tinggi blok tegangan tekan beton persegi ekuivalen), kemudian dibandingkan dengan a_{\max} dan a_{\min}

sehingga didapat kemungkinan – kemungkinan berikut :

Untuk a_{\max} :

1) Jika nilai $a \leq a_{\max}$ leleh , berarti semua tulangan tarik sudah leleh.

- 2) Jika nilai $a > a_{\text{maks leleh}}$, berarti tulangan tarik pada baris paling dalam belum leleh, maka sebaiknya dimensi balok diperbesar.

Untuk a_{min} :

- 1) Jika nilai $a \geq a_{\text{min leleh}}$, berarti semua tulangan tekan sudah leleh.
- 2) Jika nilai $a < a_{\text{min leleh}}$, berarti tulangan tekan pada baris paling dalam belum leleh, sehingga nilai tegangan tekan tulangan masih lebih kecil daripada tegangan lelehnya ($f_s' < f_y$).

Untuk keadaan penampang balok beton bertulang tulangan tekan belum leleh, berarti regangan $\epsilon_s < \epsilon_y$.

Nilai a (tinggi blok tegangan tekan beton persegi ekuivalen) :

$$a = \left(\sqrt{p^2 + q} \right) - p \dots\dots\dots (2.67)$$

dengan :

$$p = \frac{600.A_s' - A_s \cdot f_y}{1,7 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (2.68)$$

$$q = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d_s' \cdot A_s'}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (2.69)$$

2.5.2.3 Selimut Momen Balok

Pemberian tulangan pada struktur balok dimaksudkan agar balok tersebut mampu memikul beban lentur yang terjadi pada balok. Oleh karena itu disyaratkan, bahwa momen dukung ijin yang berada di dalam balok (yaitu momen rencana M_r atau $\emptyset \cdot M_n$) minimal sama dengan momen perlu (M_u) akibat bekerjanya kombinasi beban terfaktor yang berada diluar balok.

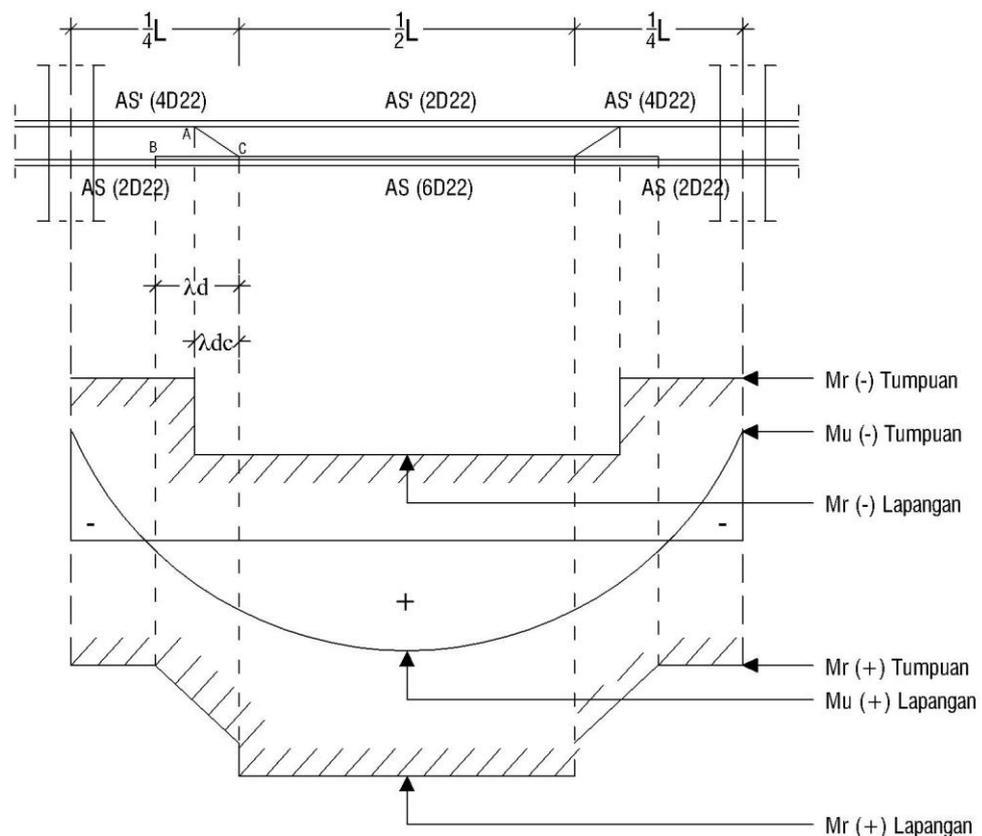
Untuk memberikan gambaran/keyakinan bahwa balok tersebut mampu memikul beban-beban yang bekerja padanya, maka perlu digambarkan

tentang selimut momen balok. Dari gambar selimut momen ini dapat diketahui, bahwa momen rencana balok M_r lebih besar atau sama dengan momen perlu M_u .

Pada penggambaran selimut momen balok perlu direncanakan letak pemutusan tulangan dengan suatu pertimbangan, bahwa tulangan tersebut boleh diputus pada lokasi sedemikian rupa sehingga diberi kesempatan untuk menyalurkan tegangannya sampai ke titik leleh. Hal ini berarti tulangan diputus pada jarak minimal sepanjang λd yang ditunjukkan pada gambar selimut momen, yang menyatakan bahwa garis momen rencana berada diluar garis momen perlu (perhatikan **Gambar 2.12**)

Langkah-langkah yang ditempuh untuk menggambar selimut momen balok biasanya dilaksanakan dengan urutan berikut :

- 1) Dihitung tulangan longitudinal pada daerah ujung dan lapangan balok.
- 2) Dihitung momen rencana balok, Baik momen positif maupun momen negatif.
- 3) Dihitung panjang penyaluran tegangan tulangan λd pada tempat pemutusan tulangan.
- 4) Membuat gambar penulangan balok lengkap dengan letak tulangan yang diputus
- 5) Membuat gambar momen perlu dan momen rencana balok dalam bentuk garis-garis momen. Dengan mempertimbangkan panjang penyaluran λd sedemikian rupa, sehingga tampak bahwa garis-garis momen rencana berada di luar garis-garis momen perlu.



Gambar 2. 12 Contoh Selimut Momen Balok

Gambar 2.10 tersebut menunjukkan beberapa hal sebagai berikut :

- 1) Tulangan atas pada balok ujung berjumlah 4 batang. Kemudian dibengkokkan ke bawah sebanyak 2 batang di titik A, sehingga jumlah tulangan atas di bentang tengah tinggal 2 batang.
- 2) Berkaitan dengan item 1, kekuatan momen rencana $M_r^{(-)}$ tumpuan (yang ditahan oleh 4 batang tulangan atas)akan turun secara vertikal di titik A (karena ada 2 batang yang dibengkokkan ke bawah) menjadi momen rencana $M_r^{(-)}$ lapangan (yang tinggal ditahan oleh 2 batang tulangan atas pada bentang tengah balok).
- 3) Tulangan bawah pada balok ujung berjumlah 2 batang, kemudian ada penambahan tulangan 2 batang dititik B (sehingga berjumlah 4 batang),

dan penambahan lagi 2 batang di titik C (dari pembengkokan tulangan atas ke bawah, sehingga berjumlah 6 batang pada betang-tengah balok).

- 4) Berkaitan dengan item 3, kekuatan momen rencana $M_r^{(+)}$ tumpuan (ditahan oleh 2 batang tulangan bawah) akan tetap sampai di titik B, kemudian secara berangsur-angsur bertambah (ditunjukkan dengan garis lurus miring) seiring dengan pengembangan tegangan tulangan (yang ditambahkan pada titik B sebanyak 2 batang, sehingga berjumlah 4 batang) sampai mencapai leleh di titik C, dan naik lagi secara vertikal di titik C tersebut menjadi momen rencana $M_r^{(+)}$ lapangan (karena ada penambahan 2 batang lagi dari pembengkokan tulangan atas, sehingga berjumlah 6 batang).
- 5) Pada **Gambar 2.12** juga ditunjukkan, bahwa garis momen perlu mulai dari $M_u^{(-)}$ tumpuan kanan ke $M_u^{(+)}$ lapangan sampai $M_u^{(+)}$ tumpuan kiri berada di dalam garis momen rencana (di antara batas garis $M_r^{(-)}$ dan $M_r^{(+)}$).

2.5.2.4 Kuat Geser Balok

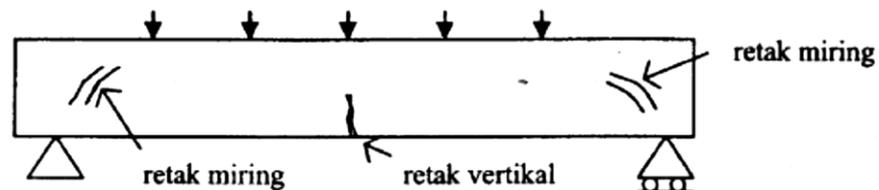
Karena kekuatan tarik beton jauh lebih kecil dibandingkan kekuatan tekannya, maka desain terhadap geser merupakan hal yang sangat penting dalam struktur beton.

Perilaku balok beton bertulang pada keadaan runtuh karena geser sangat berbeda dengan keruntuhan karena lentur. Balok tersebut langsung hancur tanpa adanya peringatan terlebih dahulu, juga retak diagonalnya jauh lebih lebar dibandingkan dengan retak lentur. Perencana harus merancang

panampang yang cukup kuat untuk memikul beban geser luar rencana tanpa mencapai kapasitas gesernya.

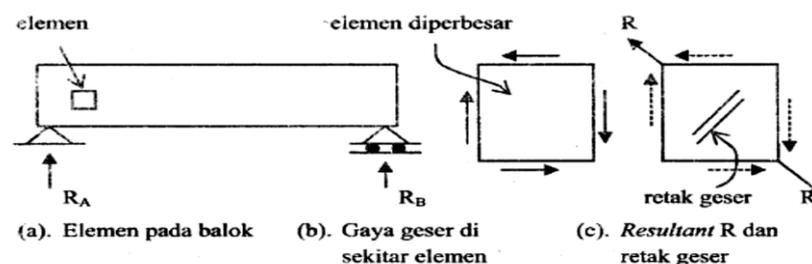
Retakan pada Balok :

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



Gambar 2. 13 Jenis Retakan pada Balok

Retak vertikal terjadi akibat kegagalan balok dalam menahan beban lentur, sehingga biasanya terjadi pada daerah lapangan 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 / gaya lintang paling besar.



Gambar 2. 14 Jenis Retakan pada Balok Akibat Gaya Geser

Pada gambar terjadi keadaan berikut :

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

Penulangan geser pada dasarnya mempunyai empat fungsi utama, yaitu:

- a. Memikul sebagian gaya geser luar rencana V_u
- b. Membatasi bertambahnya retak diagonal
- c. Memegang dan mengikat tulangan memanjang pada posisinya sehingga tulangan memanjang ini mempunyai kapasitas yang baik untuk memikul lentur
- d. Memberikan semacam ikatan pada daerah beton yang tertekan apabila sengkang ini berupa sengkang tertutup.

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

1) Pasal 11.1.1 SNI 2847 – 2013, gaya geser rencana, gaya geser nominal, gaya geser yang ditahan oleh beton dan begel dirumuskan :

$$V_r = \phi V_n \text{ dan } \phi V_n \geq V_u \dots\dots\dots (2.70)$$

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (2.71)$$

dengan :

V_r : Gaya geser rencana, Kn

V_n : Gaya geser nominal, kN

V_c : Gaya geser yang ditahan oleh beton, kN

V_s : Gaya geser yang ditahan oleh begel, kN

ϕ : Faktor reduksi geser = 0,75

2) Pasal 11.1.3.1 SNI 2847 – 2013, nilai V_u boleh diambil pada jarak d (menjadi V_{ud}) dari muka kolom, sebagai berikut :

$$V_{ud} = V_{ut} + \frac{x}{y} \cdot (V_u - V_{ut}) \dots\dots\dots (2.72)$$

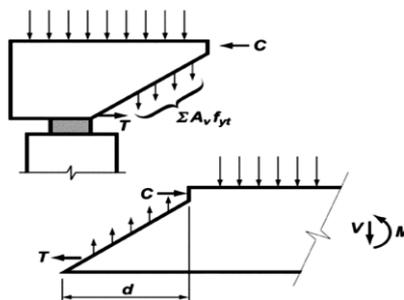


Fig. R11.1.3.1(a)—Free body diagrams of the end of a beam.

Gambar 2. 15 Diagram badan bebas ujung balok

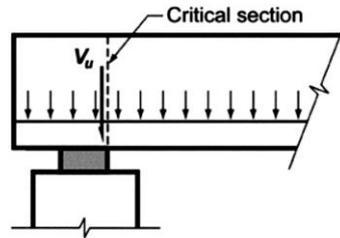
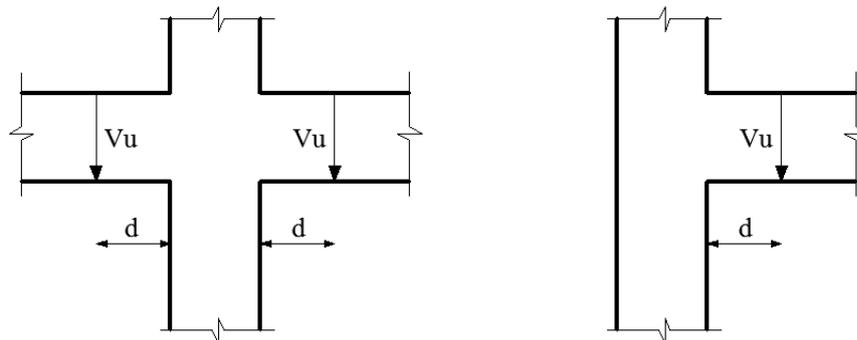


Fig. R11.1.3.1(b)—Location of critical section for shear in a member loaded near bottom.

Gambar 2. 16 Lokasi penampang kritis untuk geser pada komponen struktur terbebani di dekat bagian bawah



Gambar 2. 17 Kondisi tumpuan tipikal untuk menentukan lokasi gaya geser terfaktor V_u

3) Pasal 11.2.1 SNI 2847 – 2013, gaya geser yang ditahan oleh beton (V_c)

dihitung dengan rumus :

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (2.73)$$

4) Pasal 11.4.7.1 SNI 2847 – 2013, gaya geser yang ditahan oleh begel (V_s)

dihitung dengan rumus :

$$V_s = \frac{(V_u - \phi \cdot V_c)}{\phi} \dots\dots\dots (2.74)$$

5) Pasal 11.4.7.9 SNI 2847 – 2013

$$V_s \text{ harus } \leq \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (2.75)$$

Jika V_s ternyata $\geq \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$, maka ukuran balok diperbesar.

6) **SNI 2847 – 2013**, 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

$$A_{v,u} = \frac{V_s \cdot S}{f_y \cdot d} \dots\dots\dots (2.76)$$

dengan S (Panjang Balok) = 1000 mm

b. Pasal 11.4.6.3

$$A_{v,u} = \frac{b \cdot S}{3 \cdot f_y} \dots\dots\dots (2.77)$$

dengan S (Panjang Balok) = 1000 mm

c. Pasal 11.4.6.3

$$A_{v,u} = \frac{75 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot S}{1200 \cdot f_y} \dots\dots\dots (2.78)$$

dengan S (Panjang Balok) = 1000 mm

7) Spasi begel (s) dihitung dengan rumus berikut :

$$a. s = \frac{n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_p^2 \cdot S}{A_{v,u}} \dots\dots\dots (2.79)$$

b. Pasal 11.4.5.1 untuk $V_s < \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$, maka

$$s \leq \frac{d}{2} \text{ dan } s \leq 600 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.80)$$

c. Pasal 11.4.5.3 untuk $V_s > \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$, maka

$$s \leq \frac{d}{4} \text{ dan } s \leq 300\text{mm} \dots\dots\dots (2.81)$$

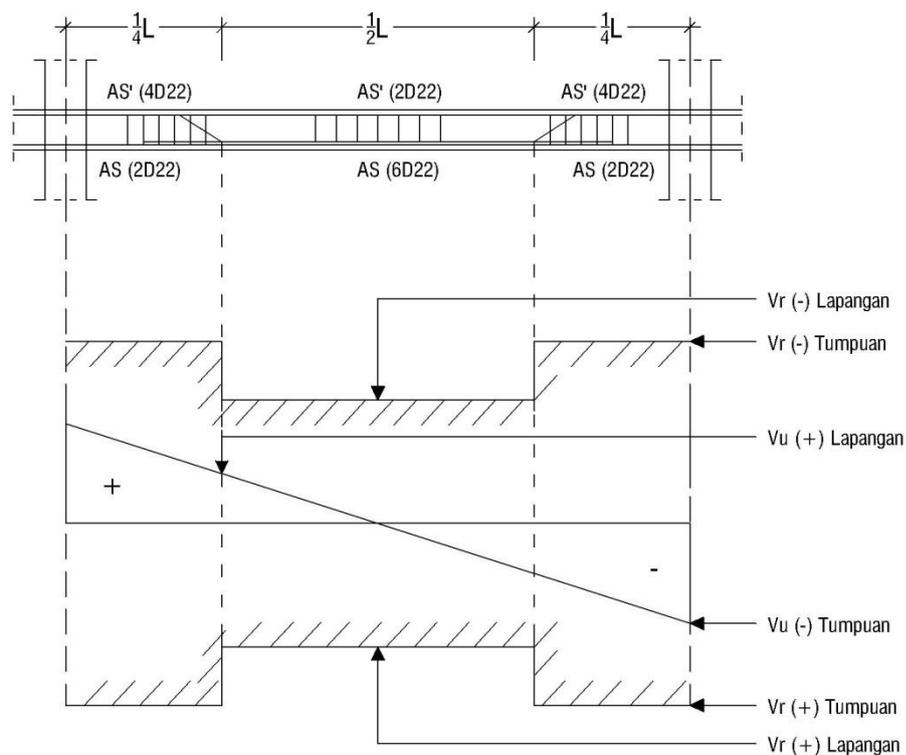
dengan :

n : jumlah kaki begel (2, 3 atau 4 kaki)

dp : diameter begel dari tulangan polos, mm

2.5.2.5 Selimut Geser Balok

Pada dasarnya selimut geser balok memiliki prinsip yang sama seperti selimut momen balok yaitu untuk memberikan gambaran/keyakinan bahwa balok tersebut mampu memikul beban-beban yang bekerja padanya, maka perlu digambarkan tentang selimut geser balok. Dari gambar selimut geser ini dapat diketahui, bahwa geser rencana balok V_r lebih besar atau sama dengan geser perlu V_u .



Gambar 2. 18 Selimut Geser Balok

2.5.2.6 Momen Puntir (Torsi)

Torsi atau momen puntir adalah momen yang bekerja terhadap sumbu longitudinal balok/elemen struktur. Torsi dapat terjadi karena adanya beban eksentrik yang bekerja pada balok tersebut.

Menurut pasal 13.6.1 SNI 2847–2013, Pengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor T_u memenuhi syarat berikut :

$$T_u \leq \frac{\phi \cdot \sqrt{f'c}}{12} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \text{ dengan } \phi = 0,75 \dots \dots \dots (2.82)$$

Dengan : A_{cp} : Luas penampang brutto

P_{cp} : Keliling penampang brutto

Tabel 2. 4 Kombinasi Pembebanan Ultimit

Nama Kombinasi	Kombinasi Pembebanan
COMB 1	1,4D
COMB 2	1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr atau R)
COMB 3	1,2D + 1,6 (Lr atau R) + (L atau 0,5 W)
COMB 4	1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr atau R)
COMB 5	1,2D + 1,0E + L
COMB 6	0,9D + 1,0W
COMB 7	0,9D + 1,0E

Sumber: SNI-1726-2012

Kombinasi beban untuk metoda tegangan ijin dimana beban-beban harus ditinjau dengan kombinasi-kombinasi berikut untuk perencanaan struktur,

komponen-elemen struktur dan elemen-elemen pondasi berdasarkan metoda tengangan ijin, sebagai berikut:

Tabel 2. 5 Kombinasi Pembebanan Tegangan Ijin

Nama Kombinasi	Kombinasi Pembebanan
COMB 1	D
COMB 2	D + L
COMB 3	D + (Lr atau R)
COMB 4	D + 0,75 L + 0,75 (Lr atau R)
COMB 5	D + (0,6W atau 0,7E)
COMB 6	D + 0,75 (0,6W atau 0,7E) + 0,75L + 0,75 (Lr atau R)
COMB 7	0,6D + 0,6W
COMB 8	0,6D + 0,7E

Sumber: SNI-1726-2012

Keterangan :

D : Beban mati (*Dead*)

L : Beban hidup (*Live*)

Lr : Beban Hidup atap

R : Beban Hujan

W : Beban Angin (*Wind*)

E : Beban gempa (*Earthquake*)

2.5.3 Kolom

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dari dimensi lateral terkecil. Sebagai bagian dari suatu kerangka bangunan, kolom menempati posisi penting di dalam sistem struktur bangunan. Kegagalan kolom akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen struktur lain yang berhubungan dengannya, atau bahkan merupakan batas runtuh total keseluruhan struktur bangunan. Oleh karena itu, dalam merencanakan struktur kolom harus memperhitungkan secara cermat dengan memberikan cadangan kekuatan lebih tinggi daripada untuk komponen struktur lainnya.

Banyaknya penulangan dalam hal balok telah dikontrol agar balok dapat berperilaku duktail. Dalam hal kolom, beban aksial biasanya dominan sehingga keruntuhan yang berupa keruntuhan tekan sulit dihindari.

Apabila beban pada kolom bertambah, maka retak akan banyak terjadi di seluruh tinggi kolom pada lokasi-lokasi tulangan sengkang. Dalam keadaan batas keruntuhan (*limit state of failure*), selimut beton diluar sengkang (pada kolom bersengkang) atau diluar spiral (pada kolom berspiral) akan lepas sehingga tulangan memanjangnya akan mulai kelihatan. Apabila bebannya terus bertambah, maka terjadi keruntuhan dan tekuk lokal (*local buckling*) tulangan memanjang pada panjang tak tertumpu sengkang atau spiral. Dapat dikatakan bahwa dalam keadaan batas keruntuhan, selimut beton lepas dahulu sebelum lekatan baja-beton hilang.

Kekuatan kolom di evaluasi berdasarkan prinsip-prinsip dasar sebagai berikut :

1. Distribusi regangannya linier di seluruh tebal kolom.
2. Tidak ada gelincir antara beton dengan tulangan baja (ini berarti regangan pada baja sama dengan regangan pada beton yang mengelilinginya).
3. Regangan beton maksimum yang diizinkan pada keadaan gagal (untuk perhitungan kekuatan) adalah 0,003.
4. Kekuatan tarik beton diabaikan dan tidak digunakan dalam perhitungan.

2.5.4.1 Jenis Kolom

Kolom dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk dan susunan tulangannya, posisi beban pada penampangnya, dan panjang kolom dalam hubungannya dengan dimensi lateralnya.

Ada beberapa jenis kolom, yaitu :

1. Kolom dengan sengkang ikat (*tied column*)

Bentuk kolom biasanya persegi atau bujursangkar dengan tulangan utama memanjang diikat oleh sengkang persegi.

2. Kolom dengan sengkang spiral (*spiral column*)

Bentuk kolom biasanya lingkaran atau segi-n atau dapat pula persegi. tulangan memanjang diikat oleh sengkang berbentuk spiral.

3. Kolom komposit (*composite column*)

Kolom ini biasanya menggunakan baja profil dengan penambahan tulangan yang dibungkus oleh beton atau sebaliknya.

A. Kekuatan Kolom Pendek dengan Beban Sentris

Pada awalnya, beton maupun baja berperilaku elastis. Saat regangannya mencapai sekitar 0,003, beton mencapai kekuatan maksimum f'_c . Secara teoritis, beban maksimum yang dapat dipikul oleh kolom adalah beban yang menyebabkan terjadinya tegangan f'_c pada beton. Penambahan beban lebih lanjut bisa saja terjadi apabila *strain hardening* pada baja terjadi disekitar regangan 0,003.

Dengan demikian kapasitas beban sentris maksimum pada kolom dapat diperoleh dengan menambahkan kontribusi beton, yaitu $(A_g - A_{st}) 0,85 f'_c$ dan kontribusi baja, $A_{st}f_y$. A_g adalah luas bruto total penampang beton, dan A_{st} adalah luas total tulangan baja = $A_s + A'_s$. Yang digunakan dalam perhitungan di sini adalah $0,85 f'_c$, bukan f'_c . Hal ini disebabkan oleh kekuatan maksimum yang dapat dipertahankan pada struktur actual mendekati harga $0,85 f'_c$. Dengan demikian, kapasitas beban sentris maksimum adalah P_o yang dapat dinyatakan sebagai :

$$P_o = 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st}f_y \dots \dots \dots (2.83)$$

Untuk mengurangi perhitungan eksentrisitas minimum yang diperlukan dalam analisis dan desain, perlu adanya reduksi beban aksial sebesar 20% untuk kolom bersengkang dan 15% untuk kolom berspiral. Dengan menggunakan faktor-faktor ini, kapasitas beban aksial nominal pada kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada :

$$P_n(maks) = 0,8 [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y] \dots \dots \dots (2.84)$$

Untuk kolom bersengkang, dan

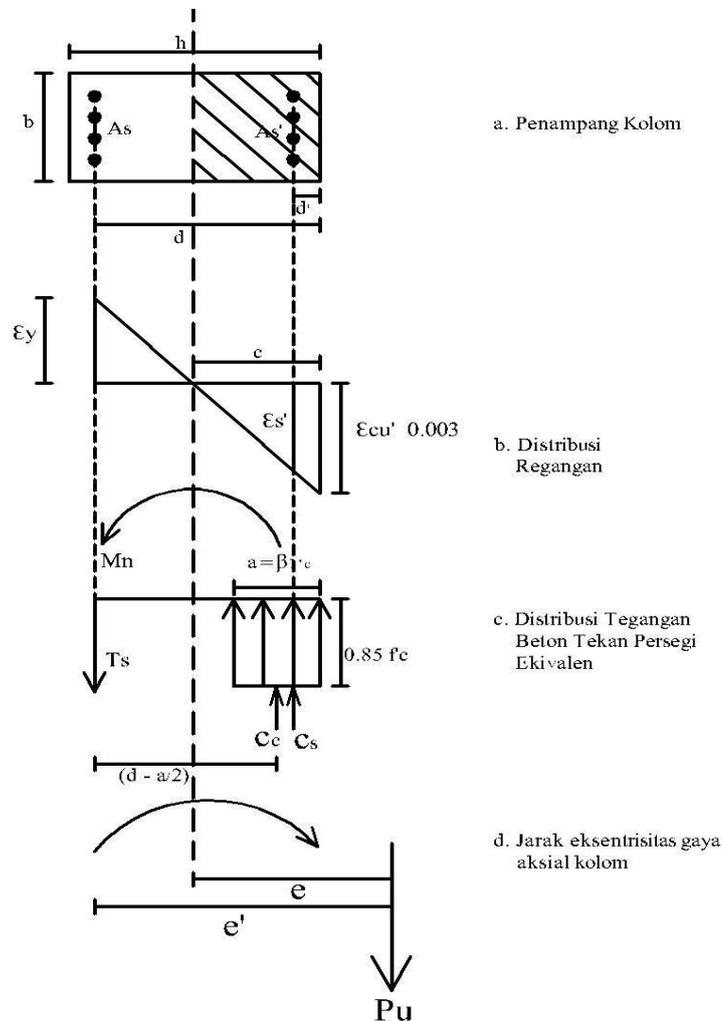
$$P_n(maks) = 0,85 [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y] \dots \dots \dots (2.85)$$

Untuk kolom berspiral.

Beban rencana: $P_u \leq \phi P_n$ (2.86)

B. Kekuatan Kolom dengan Beban Eksentris : Aksial dan Lentur

Prinsip-prinsip pada balok mengenai distribusi tegangan segiempat ekuivalennya dapat diterapkan juga pada kolom. Pada **Gambar 2.19** memperlihatkan penampang melintang suatu kolom segi empat tipikal dengan diagram distribusi regangan, tegangan dan gaya padanya.



Gambar 2. 19 Tegangan dan gaya-gaya pada kolom

<p>Regangan:</p> $\varepsilon_s = 0,003 \frac{d-c}{c}$ $\varepsilon_s' = 0,003 \frac{c-d'}{c}$	<p>Tegangan:</p> $f_s = E_s \cdot \varepsilon_s \leq f_y$ $f_s' = E_s \cdot \varepsilon_s' \leq f_y$	<p>Gaya dalam:</p> $C_c = 0,85 f_c' b a$ $C_s = A_s' \cdot f_s'$ $T_s = A_s \cdot f_s$
--	--	--

Eksentrisitas:

$$e = \frac{Mu}{Pu} \dots\dots\dots (2.87)$$

Gaya tahan aksial P_n dalam keadaan runtuh:

$$P_n = C_c + C_s - T_s \dots\dots\dots (2.88)$$

$$P_n = 0,85 f_c' b a + A_s' \cdot f_s' - A_s \cdot f_s \dots\dots\dots (2.89)$$

Momen tahanan nominal $M_n = P_n \cdot e$

$$M_n = P_n \cdot e = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(d - \frac{h}{2} \right) \dots\dots\dots (2.90)$$

Dimana:

- c = jarak sumbu netral
- h = tinggi balok
- e = eksentrisitas beban ke pusat plastis
- e' = eksentrisitas beban ke tulangan tarik
- d' = selimut efektif tulangan tekan
- Mu = Momen berfaktor
- Pu = Gaya aksial berfaktor

2.5.4.2 Ragam Kegagalan Material pada Kolom

Berdasarkan besarnya regangan pada tulangan baja yang tertarik, penampang kolom dapat dibagi menjadi dua kondisi awal keruntuhan, yaitu:

1. Keruntuhan tarik, yang diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik.
2. Keruntuhan tekan, yang diawali dengan hancurnya beton yang tertekan.
3. Kondisi *balanced* terjadi apabila keruntuhan diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik sekaligus juga hancurnya beton yang tertekan.

Apabila P_n adalah beban aksial dan P_{nb} adalah beban aksial pada kondisi *balanced*, maka:

$P_n < P_{nb}$ keruntuhan tarik

$P_n = P_{nb}$ keruntuhan *balanced*

$P_n > P_{nb}$ keruntuhan tekan

Keruntuhan *balanced* pada kolom:

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d \dots\dots\dots (2.91)$$

$$a_b = \beta_1 \cdot c_b = \frac{600}{600 + f_y} \beta_1 d \dots\dots\dots (2.92)$$

$$P_{nb} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a_b + A'_s \cdot f'_y - A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2.93)$$

$$M_{nb} = P_{nb} \cdot e_b = 0,85 f'_c b a_b \left(\frac{h}{2} - \frac{a_b}{2} \right) + A'_s \cdot f'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s \cdot f_y \left(d - \frac{h}{2} \right)$$

Dimana $f'_s = 0,003 E_s \frac{c_b - d'}{c_b} \leq f_y \dots\dots\dots (2.94)$

Keruntuhan Tarik pada Kolom Segiempat:

Apabila tulangan tekan diasumsikan telah leleh, dan $A'_s = A_s$, maka:

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \dots\dots\dots (2.95)$$

$$M_n = P_n \cdot e = 0,85 f'_c b a \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s \cdot f_y \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s \cdot f_y \left(d - \frac{h}{2} \right)$$

atau

$$M_n = P_n \cdot e = 0,85 f'_c b a \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s \cdot f_y \left(d - \frac{h}{2} \right) \dots\dots\dots (2.96)$$

Jika $\rho = \rho' = \frac{A_s}{bd}$

$$P_n = 0,85 f'_c b \left[\left(\frac{h}{2} - e \right) + \sqrt{\left(\frac{h}{2} - e \right)^2 + \frac{2 A_s f_y (d - d')}{0,85 f'_c b}} \right] \dots\dots\dots (2.97)$$

Dan jika $m = \frac{f_y}{0,85 f'_c}$, maka :

$$P_n = 0,85 f'_c b d \left[\frac{h - 2e}{2d} + \sqrt{\left(\frac{h - 2e}{2d} \right)^2 + 2m\rho \left(1 - \frac{d'}{d} \right)} \right] \dots\dots\dots (2.98)$$

Keruntuhan Tekan pada Kolom Segiempat:

Agar dapat terjadi keruntuhan yang diawali dengan hancurnya beton, eksentrisitas e gaya normal harus lebih kecil dari pada *eksentrisitas balanced* e_b , dan tegangan pada tulangan tariknya lebih kecil dari pada tegangan leleh, yaitu $f_s < f_y$.

2.5.4.3 Kuat Geser Kolom

Menurut SNI-1726-2012, gaya geser rencana V_e harus ditentukan dengan memperhitungkan gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi pada muka hubungan balok-kolom pada setiap ujung komponen struktur. Gaya-

gaya pada muka hubungan balok-kolom tersebut harus ditentukan menggunakan kuat momen maksimum M_{pr} dari komponen struktur tersebut yang terkait dengan rentang beban-beban aksial terfaktor yang bekerja.

Gaya geser rencana V_e pada kolom dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut ini.

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{H} \dots\dots\dots (2.99)$$

dengan:

V_e = gaya geser rencana kolom

M_{pr1} = kuat momen lentur 1

M_{pr2} = kuat momen lentur 2

H = tinggi kolom

Momen-momen ujung M_{pr} untuk kolom tidak perlu lebih besar daripada momen yang dihasilkan oleh M_{pr} untuk balok yang merangka pada hubungan balok-kolom. V_e tidak boleh lebih kecil daripada nilai yang dibutuhkan berdasarkan hasil analisis struktur.

Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada persamaan sebagai berikut ini:

$$\phi.V_n \geq V_n + V_c \dots\dots\dots (2.100)$$

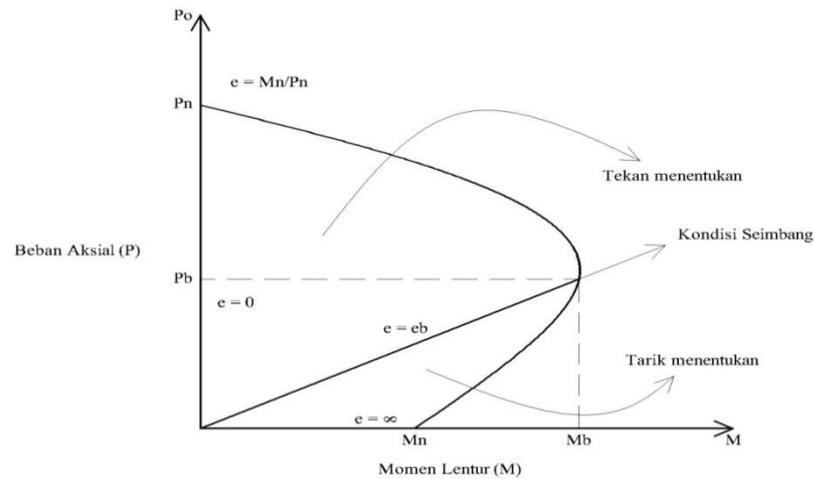
Komponen struktur yang dibebani tekan aksial berlaku persamaan sebagai berikut ini:

$$V_c = \left(1 + \frac{Nu}{14.A_g}\right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6}\right) b_w \cdot d \dots\dots\dots (2.101)$$

Pada daerah sepanjang sendi plastis (sepanjang λ_o), **SNI-2847-2013** pasal **21.3.5.6** mensyaratkan untuk tetap meninjau V_c selama gaya tekan aksial termasuk akibat pengaruh gempa melebihi $A_g f'_c / 10$. Dalam hal ini sangat jarang gaya aksial kolom kurang dari $A_g f'_c / 10$. Sehingga V_c pada daerah sendi plastis bisa tetap diabaikan ($V_c = 0$), hal ini karena meskipun peningkatan gaya aksial meningkatkan nilai V_c tetapi juga meningkatkan penurunan ketahanan geser.

2.5.4.4 Diagram Interaksi Kolom

Suatu metode yang lebih baik untuk keperluan praktis desain adalah dengan menggambarkan diagram interaksi, yang memberikan beban runtuh dan momen runtuh dari suatu penampang kolom, untuk setiap nilai eksentrisitas dari nol sampai tak terhingga. Untuk tiap nilai eksentrisitas terdapat pasangan unik dari P_n dan M_n yang dapat diplot dalam suatu diagram seperti pada **Gambar 2.20**, garis radial mempresentasikan nilai eksentrisitas, $e = M/P$. Sumbu vertical menunjukkan nilai eksentrisitas $e = 0$ serta P_o yang merupakan kapasitas kolom yang dibebani secara konsentris, yang besarnya dapat dihitung dari persamaan $P_o = 0,85 \cdot f'_c \cdot A_g + A_s t (f_y - 0,85 f'_c)$. Sumbu horizontal berhubungan dengan nilai eksentrisitas tak terhingga yaitu lentur murni pada kapasitas momen M_o . Eksentrisitas yang kecil akan menghasilkan keruntuhan yang ditentukan oleh keruntuhan tekan beton, sedangkan eksentrisitas yang besar akan menghasilkan keruntuhan yang ditentukan oleh luluhnya tulangan tarik.



Gambar 2. 20 Diagram Interaksi Kolom dengan Beban Aksial dan Momen Lentur

2.6 Perencanaan Desain Struktur Bawah

Struktur bawah dari suatu bangunan adalah pondasi. Pondasi berperan penting dalam menopang suatu bangunan karena merupakan komponen struktur bawah yang berfungsi untuk meneruskan gaya dari segala arah bangunan di atasnya ke tanah. Pembangunan pondasi harus dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat pondasi itu sendiri, beban-beban berguna, dan gaya-gaya luar seperti tekanan angin, gempa, dan lain-lain.

2.6.1 Jenis Pondasi

Berdasarkan letak lapisan tanah keras, pondasi ada 2 macam, yaitu :

1. Pondasi dangkal (*Shallow footing*) adalah pondasi yang berada pada lapisan tanah keras yang letaknya dekat dengan permukaan tanah. Seperti pondasi setempat, pondasi pelat dan pondasi menerus.

2. Pondasi dalam (*Deep footing*) adalah pondasi yang berada pada lapisan tanah keras yang letaknya jauh dengan permukaan tanah. Seperti pondasi sumuran, pondasi tiang pancang, dan pondasi bored pile.

Dalam pemilihan jenis pondasi yang didasarkan pada daya dukung tanah, ada beberapa hal perlu diperhatikan, yaitu:

- a. Bila tanah keras terletak pada permukaan tanah atau 2-3 meter di bawah permukaan tanah, maka pondasi yang dipilih sebaiknya jenis pondasi dangkal (pondasi setempat, pondasi menerus, pondasi pelat).
- b. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 10 meter atau lebih di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang biasanya dipakai adalah pondasi tiang minipile dan pondasi sumuran atau pondasi bored pile.
- c. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 20 meter atau lebih di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang biasanya dipakai adalah pondasi tiang pancang.

2.6.2 Persyaratan Pondasi Bore Pile

- 1) Daya dukung pondasi harus lebih besar dari pada beban yang dipikul oleh pondasi tersebut.
- 2) Penurunan yang terjadi harus sesuai batas yang diizinkan (toleransi) yaitu 1” (2,54cm)
- 3) Perhitungan daya dukung ultimate :

Persamaan Terzaghi (Untuk pondasi bentuk lingkaran)

$$\bar{\sigma}_u = \frac{1}{FS} \left((1,3 \cdot c \cdot N_c) + (H \cdot \gamma_t \cdot N_q) + (0,3 \gamma_t \cdot B \cdot N_\gamma) \right) \dots\dots\dots (2.102)$$

Tabel 2. 6 Nilai-Nilai Faktor Kapasitas Dukung Terazghi (1943)

Φ	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser lokal		
	N_c	N_q	N_γ	N'_c	N'_q	N'_γ
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

Sumber : Hari Christady (2014:121)

4) Analisis daya dukung masing – masing tiang :

- $P_1 =$ adhesi

$$P_1 = \frac{1}{F_S} \cdot K \cdot L \cdot c \quad \dots\dots\dots(2.103)$$

- $P_2 =$ gesekan

$$P_2 = \frac{1}{F_S} \cdot K \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot L^2 \cdot \gamma_t\right) (1 + \tan^2 \Phi) \tan \Phi \quad \dots\dots\dots(2.104)$$

- $P_3 =$ Point bearing

$$P_3 = A \cdot \bar{\sigma}_u \quad \dots\dots\dots(2.105)$$

$$P_3 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \bar{\sigma}_u \quad \dots\dots\dots(2.106)$$

- $P_{netto} = P_1 + P_2 + P_3 -$ berat tiang $\dots\dots\dots(2.107)$

$$P_{netto} = P_1 + P_2 + P_3 - A \cdot L \cdot \gamma_b \quad \dots\dots\dots(2.108)$$

- Jumlah tiang yang diperlukan :

$$n = \frac{V_u}{P_{netto}} \dots\dots\dots(2.109)$$

5) Kontrol daya dukung tiang

- Untuk arah y

$$\sum y^2 = (\sum n_1 \cdot y_1^2) \dots\dots\dots(2.110)$$

$$P = \frac{V}{n} \pm \frac{M_u \cdot y}{\sum y^2} \dots\dots\dots(2.111)$$

- Untuk arah x

$$\sum x^2 = (\sum n_1 \cdot x_1^2) \dots\dots\dots(2.112)$$

$$P = \frac{V}{n} \pm \frac{M_u \cdot x}{\sum x^2} \dots\dots\dots(2.113)$$

Sehingga :

$$P_i = \frac{\sum v}{n} \pm \frac{M_{y \cdot x}}{\sum x^2} \pm \frac{M_{x \cdot y}}{\sum y^2} \dots\dots\dots(2.114)$$

2.6.3 Penulangan Pondasi Bore pile

1. Kapasitas momen pada dasar pondasi tiang

$$M_1 = \frac{M_{dasar}}{n} \dots\dots\dots(2.115)$$

2. Gaya geser maksimum terjadi pada bagian atas pondasi akibat beban horizontal

$$H_u = \frac{H}{n} \dots\dots\dots(2.116)$$

3. Penulangan borepile

$$A_g = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \dots\dots\dots(2.117)$$

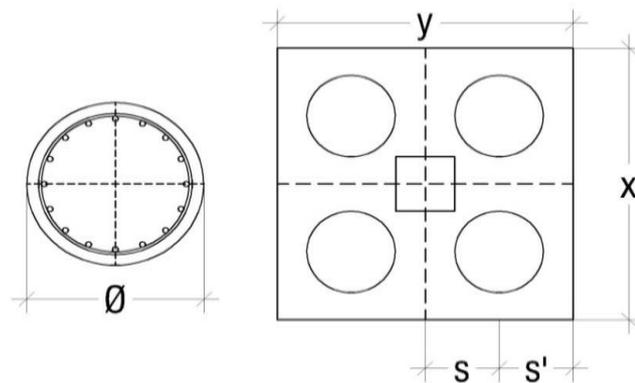
$$A_c = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_c^2 \dots\dots\dots(2.118)$$

$$\rho = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \cdot \frac{f_c}{f_y} \quad \dots\dots\dots(2.119)$$

$$A_{st} = \rho \cdot A_c \quad \dots\dots\dots(2.120)$$

4. Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_{st}}{A_s} \quad \dots\dots\dots(2.121)$$



Gambar 2. 21 Bore Pile,Detail Penulangan Tiang Pondasi Dan Jumlah Tiang dan Tata Letak Pondasi Tiang

2.6.4 Perencanaan *Pile Cap*

Pada struktur dengan kolom yang memikul beban berat, atau jika struktur kolom tidak didukung oleh tanah yang kuat dan seragam, umumnya digunakan pondasi menerus untuk menyalurkan beban ke tanah. Pondasi menerus dapat terdiri dari *pile cap* menerus yang mendukung kolom-kolom yang berada dalam satu baris, tetapi jenis pondasi menerus yang paling sering digunakan ialah fondasi *pile cap* menerus yang menggabungkan dua baris *pile cap* yang berpotongan, sehingga mereka membentuk pondasi grid. Namun, kasus beban yang lebih besar lagi/tanah yang lebih lemah, baris-

baris *pile cap* digabungkan menjadi satu *pile cap* monolit membentuk pondasi rakit (*raft foundation*).

Pondasi rakit (*raft foundation*) adalah pondasi yang membentuk rakit melebar ke seluruh bagian dasar bangunan. Bila luasan pondasi yang diperlukan > 50% dari luas bagian bawah bangunan maka lebih disarankan untuk menggunakan pondasi rakit, karena lebih memudahkan untuk pelaksanaan penggalian dan penulangan beton.

Penentuan dari dimensi atau ketebalan pondasi *pile cap* ditentukan oleh daya dukung yang dibutuhkan, faktor keamanan dan batas penurunan yang masih diizinkan, dengan memperhatikan kondisi dan jenis tanah di lokasi bangunan. Area maksimal yang tertutup oleh pondasi rakit umumnya adalah seluas bagian dasar bangunan. Jika daya dukung yang dibutuhkan masih belum tercapai, maka solusinya adalah memperdalam pondasi atau memperdalam ruang bawah tanah dari bangunan. Penurunan pondasi *pile cap* umumnya lebih seragam dibandingkan dengan penurunan pada pondasi telapak.

Pada proses analisisnya, pondasi *pile cap* dianggap sebagai material yang sangat kaku dan distribusi tekanan yang ditimbulkan akibat beban dapat dianggap linier. Pada pondasi *pile cap* setiap titik didukung secara langsung oleh tanah dibawahnya, sehingga momen lentur yang terjadi sangat kecil.

Momen pada pilecap di sisi kolom:

$$Pn = \frac{\Sigma p}{n} + \frac{Mux}{\Sigma x^2} + \frac{Muy}{\Sigma y^2} \dots\dots\dots (2.122)$$

$$Mu = \sigma_i.X_1 + q_p.X_2 + q_t.X_2 \dots\dots\dots (2.123)$$

Persyaratan yang harus dipenuhi :

Beban normal : $\sigma \text{ maks} \leq \sigma \text{ Tanah}$ Beban sementara : $\sigma \text{ maks} \leq 5 \times \sigma$

Tanah 1,

$\sigma \text{ Min} > 0$ (tidak boleh ada tegangan negatif)

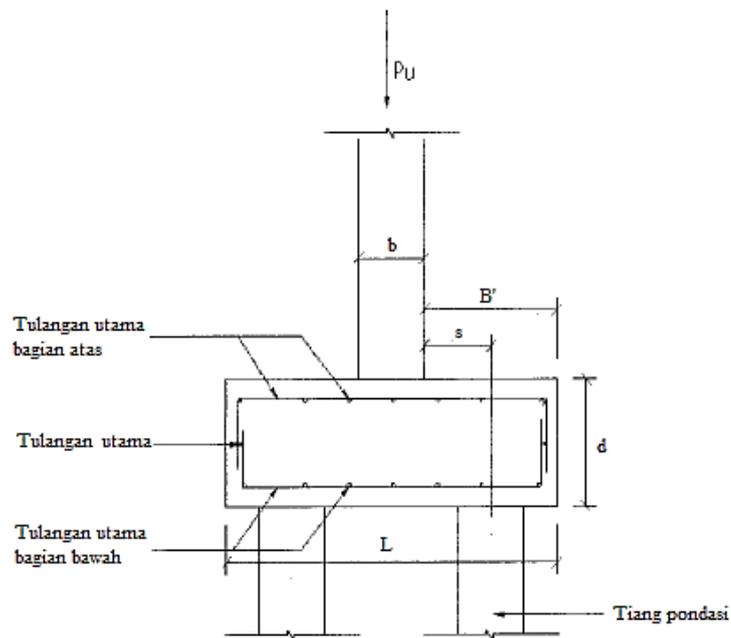
Penulangan pile cap:

$$K = \frac{Mu}{\phi b d^2} \dots\dots\dots (2.124)$$

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot f_c}} \right) d \dots\dots\dots (2.125)$$

$$Asu = \frac{0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b}{f_y} \dots\dots\dots (2.126)$$

$$s = \frac{\frac{1}{4} \pi d_2 \cdot b}{Asu} \dots\dots\dots (2.127)$$



Gambar 2. 22 Contoh Detail Tulangan *Pile cap*

2.7 Analisa Struktur Menggunakan Program SAP 2000 v.14.2.2

Program SAP 2000 v.14.2.2 adalah salah satu program analisa struktur yang telah dikenal luas dikalangan Teknik Sipil. Seiring dengan perkembangannya perangkat keras komputer, terutama prosesor yang mempunyai kemampuan kecepatan semakin tinggi, perangkat lunak juga berkembang mengikuti kemajuan perangkat keras. Keunggulan SAP 2000 v.14.2.2 antara lain ditunjukkan dengan adanya fasilitas *Auto Select Section* untuk material profil beton maupun profil baja. sehingga pengguna tidak perlu menentukan profil untuk masing – masing elemen, tetapi cukup memberikan data profil secukupnya dan program akan memilih sendiri profil yang sesuai dengan beban rencana.

Secara garis besar, perancangan model struktur baik *truss* maupun *frame* dengan SAP 2000 v.14.2.2 ini akan melalui 10 tahapan yaitu :

1. Samakan Satuan
2. Buat Model Struktur
3. Definisikan Material yang dipakai
4. Definisikan Profil yang dipakai
5. Aplikasikan Profil pada Struktur
6. Definisikan Beban
7. Aplikasikan Beban
8. Cek Gambar Struktur – Model SAP2000
9. Run Analisis
10. Cek Hasil Analisa

Salah satu kelebihan program ini adalah kita tidak hanya berhenti pada analisa struktur untuk mengetahui gaya dalam yang timbul saja, tapi juga bisa melanjutkan ke bagian *check*/desain struktur untuk mengetahui luas tulangan lentur dan geser untuk balok, dengan terlebih dahulu melakukan konversi reduksi dari *ACI* ke SNI.