

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Struktur Beton Bertulang

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa irip batuan. Terkadang, satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas dan waktu pengerasan. (Mc Cormac, 2004:1).

SNI **03-2847-2002** Pasal 3.13 mendefinisikan beton bertulang sebagai beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama dalam memikul gaya-gaya. Beton bertulang terbuat dari gabungan antara beton dan tulangan baja. Oleh karena itu, beton bertulang memiliki sifat yang sama seperti bahan-bahan penyusunnya yaitu sangat kuat terhadap beban tekan dan beban tarik.

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

Dari sifat utama tersebut, maka jika kedua bahan (beton dan besi tulangan) dipadukan menjadi satu-kesatuan secara komposit, akan diperoleh bahan baru yang disebut beton bertulang. Beton bertulang ini mempunyai sifat sesuai dengan

sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beban tarik pada beton bertulang ditahan oleh tulangan, sedangkan beban tekan cukup ditahan oleh beton.

Adapun keuntungan dan kerugian dari beton bertulang meliputi:

1. Keuntungan beton bertulang, meliputi:

- a. Dapat mengikuti bentuk bangunan secara bebas.
- b. Pemeliharaan hampir tidak ada
- c. Tahan terhadap gempa
- d. Tahan terhadap karat
- e. Ukuran lebih kecil jika dibandingkan dengan beton tak bertulang atau pasangan batu.
- f. Sebagai lantai dasar/pondasi pada tanah yang jelek/lembek sangat baik.
- g. Menyerap/Mengistilir suara.

2. Kerugian beton bertulang, meliputi:

- a. Mutu beton tergantung pada bahan dan pelaksanaannya.
- b. Tidak dapat dibongkar pasang/dipindahkan.
- c. Bongkaran tidak dapat dipakai kembali.
- d. Berat konstruksi besar jika dibandingkan dengan konstruksi kayu/baja.

Untuk meningkatkan kekuatan lekatan antara tulangan dengan beton di sekelilingnya telah dikembangkan jenis tulangan uliran pada permukaan tulangan, yang selanjutnya disebut sebagai baja tulangan *deform* atau ulir.

Berdasarkan SNI 03-2847-2013, untuk melindungi tulangan terhadap bahaya korosi maka di sebelah tulangan luar harus diberi selimut beton. Untuk beton bertulang, tebal selimut beton minimum yang harus disediakan untuk tulangan harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

**Table 2.1** Batasan tebal selimut beton

Kondisi Struktur	Tebal Selimut
a) Beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	70
b) Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Batang D-19 hingga D-56</li> <li>- Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil</li> </ul>	50 40
c) Beton yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca atau tanah : <p><u>Pelat dinding, pelat berusuk :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Batang D-44 dan D-56</li> <li>- Batang D-36 dan yang lebih kecil</li> </ul> <p><u>Balok, kolom :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tulangan utama, pengikat, sengkang, lilitan spiral</li> </ul> <p><u>Komponen struktur cangkang, pelat melipat :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Batang D-19 dan yang lebih besar</li> <li>- Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil</li> </ul>	40 20 40 20 15

## 2.2 Faktor Reduksi Kekuatan

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 faktor reduksi kekuatan  $\phi$ . Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.

Faktor reduksi kekuatan  $\phi$  meliputi:

1. Penampang terkendali tarik : 0,90
2. Penampang terkendali tekan
  - a. Komponen struktur dengan tulangan 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
  - a. Daerah angkur pasca tarik : 0,85
  - b. Model strat dan pengikat (Lampiran A), dan strat, pengikat, daerah pertemuan (*nodal*), dan daerah tumpuan dalam model tersebut : 0,75
5. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer : 0,75
6. Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran  $\infty$  boleh ditingkatkan secara linier : 0,75

### 2.3 Ketentuan Perencanaan Pembebanan

Adapun acuan yang digunakan dalam merencanakan pembebanan adalah sebagai berikut:

- 1) Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 03-2847-2013).
- 2) Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 1726:2012).
- 3) Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727:2013).
- 4) Pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung (SKBI – 1.3.53.1987)

#### 2.3.1 Jenis Pembebanan

Dalam merencanakan struktur bangunan bertingkat, digunakan struktur yang mampu mendukung berat sendiri, gaya angin, beban hidup maupun beban khusus yang bekerja pada struktur bangunan tersebut. Adapun pembebanan yang dihitung adalah sebagai berikut:

##### 1. Beban Mati (DL)

Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin – mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.

**Table 2.2** Berat Sendiri Bahan bangunan dan Komponen Gedung

<b>Material Gedung</b>	<b>Berat (kg/m<sup>3</sup>)</b>
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
<b>Komponen Gedung</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>
Adukan, per cm tebal	
- Dari semen	21
- Dari kapur, semen merah atau tras	17
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, 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 <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup> bidang atap	50
Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m <sup>2</sup> 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

*Sumber:* Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1987

## 2. Beban Hidup (LL)

Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat dipindahkan, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap ke dalam beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari

air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air.

**Table 2.3** Beban hidup pada lantai gedung

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m <sup>2</sup> )	Terpusat lb (kN)
Sistem lantai akses		
Ruang Kantor	50 (2,4) <sup>a</sup>	2 000 (8,9)
Ruang komputer	100 (4,79) <sup>a</sup>	2 000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18) <sup>a</sup>	
Ruang pertemuan	100 (4,79) <sup>a</sup>	
Kursi tetap (terikat di lantai) Lobi	100 (4,79) <sup>a</sup>	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79) <sup>a</sup>	
Panggung pertemuan	100 (4,79) <sup>a</sup>	
Lantai podium	150 (7,18) <sup>a</sup>	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor :		

Lantai pertama Lantai lain	100 (4,79)  sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79) <sup>a</sup>	
Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in.x 2 in. [50 mmx50 mm])		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai <i>finishing</i> ringan (pada area 1 in.x 1 in. [25 mm x 25 mm])		200 (0,89)
Jalur penyelamatan terhadap kebakaran	100 (4,79)	
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	
Garasi/Parkir	40 (1,92) <sup>a,b,c</sup>	
Mobil penumpang saja Truk dan bus		<i>c</i>
Helipad	60 (2,87) <sup>de</sup> tidak boleh direduksi	<i>e,f,g</i>
Rumah sakit :		
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	1 000 (4,45)
Ruang pasien	40 (1,92)	1 000 (4,45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,45)

Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan :		
Ruang baca	60 (2,87)	1 000 (4,45)
Ruang penyimpanan	150 (7,18) <sup>a, h</sup>	1 000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,45)
Pabrik :		
Ringan	125 (6,00) <sup>a</sup>	2 000 (8,90)
Berat	250 (11,97) <sup>a</sup>	3 000 (13,40)
Gedung perkantoran :		
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2 000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2 000 (8,90)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	2 000 (8,90)
Lembaga hukum :		
Blok sel	40 (1,92)	
Koridor	100 (4,79)	
Tempat rekreasi :		
Tempat bowling, Kolam renang, dan	75 (3,59) <sup>a</sup>	

penggunaan yang sama		
Bangsas dansa dan Ruang dansa	100 (4,79) <sup>a</sup>	
Gimnasium	100 (4,79) <sup>a</sup>	
Tempat menonton baik terbuka atau tertutup	100 (4,79) <sup>a,k</sup>	
Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	60 (2,87) <sup>a,k</sup>	
Rumah tinggal :		
Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)		
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	10 (0,48) <sup>l</sup>	
Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	20 (0,96) <sup>m</sup>	
Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur	30 (1,44)	
Semua ruang kecuali tangga dan balkon	40 (1,92)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya :		
Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka	40 (1,92)	
Ruang publika dan koridor yang melayani mereka	100 (4,79)	
Atap :		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96) <sup>n</sup>	

Atap digunakan untuk taman atap	100 (4,79)	
Atap yang digunakan untuk tujuan lain	Sama seperti hunian dilayani	
Atap yang digunakan untuk hunian lainnya :		
Awning dan kanopi		
Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24) tidak boleh direduksi	
Rangka tumpu layar penutup	5 (0,24) tidak boleh direduksi dan berdasarkan luas tributari dari atap yang ditumpu oleh rangka	
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	200 (0,89)
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai		
Titik panel tunggal dari batang bawah ranga atap atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang mendukung atap diatas pabrik, gudang, dan perbaikan garasi		300 (1,33)
Semua komponen struktur atap utama		300 (1,33)

lainnya Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		
Sekolah :		
Ruang kelas	40 (1,92)	1 000 (4,5)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,5)
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1 000 (4,5)
Bak-bak/ <i>scuttles</i> , rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		200 (0,89)
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97) <sup>a,p</sup>	8 000 (35,6) <sup>q</sup>
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	300 <sup>r</sup>
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	300 <sup>r</sup>
Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	
Gudang penyimpan barang sebelum disalurkan ke pengecer (jika diantisipasi menjadi gudang penyimpanan, harus dirancang untuk beban lebih berat) :		
Ringan	125 (6,00) <sup>a</sup>	
Berat	250 (11,97) <sup>a</sup>	
Toko		

Eceran	100 (4,79)	1 000 (4,45)
Lantai pertama Lantai di atasnya	75 (3,59)	1 000 (4,45)
Grosir, di semua lantai	125 (6,00) <sup>a</sup>	1 000 (4,45)
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79) <sup>a</sup>	

Sumber: Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain

SNI-1727-2013

### 3. Beban Angin (W)

Struktur yang ada pada lintasan angin akan menyebabkan angin berbelok atau dapat berhenti. Sebagai akibatnya, energi kinetik angin akan berubah bentuk menjadi energi potensial yang berupa tekanan atau isapan pada struktur. Besar tekanan atau isapan yang diakibatkan oleh angin pada suatu titik bergantung pada kecepatan angin, rapat massa udara, lokasi yang ditinjau pada struktur, perilaku permukaan struktur, bentuk geometris, dimensi dan orientasi struktur, dan kelakuan keseluruhan struktur.

Salah satu faktor yang mempengaruhi besar gaya yang ada pada saat udara bergerak disekitar benda adalah kecepatan angin. Kecepatan angin rencana untuk berbagai lokasi geografis ditentukan dari observasi empiris Kecepatannya sekitar 60 mph (96 km/jam) sampai sekitar 100 mph (161 km/jam) dan didaerah pantai sekitar 120 mph (193 km/jam). Kecepatan rencana biasanya didasarkan atas periode 50 tahun. Karena kecepatan angin akan semakin tinggi dengan ketinggian

di atas tanah, maka tinggi kecepatan rencana juga demikian. Selain itu perlu juga diperhatikan apakah bangunan itu terletak diperkotaan atau di pedesaan. Analisis yang lebih rumit juga memasukkan embusan yang merupakan fungsi dari ukuran dan tinggi struktur, kekasaran permukaan, dan benda-benda lain disekitar struktur. Peraturan bangunan lokal harus diperhatikan untuk menentukan beban angin atau kecepatan rencana.

Berdasarkan PPUG 1987 untuk menghitung pengaruh angin pada struktur dapat disyaratkan sebagai berikut :

- tekanan tiup harus diambil minimum  $25 \text{ kg/m}^2$
- tekanann tiup di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum  $40 \text{ km/m}^2$
- untuk tempat-tempat dimana terdapat kecepatan angin yang mungkin mengakibatkan tekanan tiup yang lebih besar, tekanan tiup angin ( $p$ ) dapat ditentukan berdasarkan rumus :

$$p = \frac{v^2}{16} (\text{kg} / \text{m}^2) \dots\dots\dots(2.3.1)$$

Dimana  $v$  adalah kecepatan angin (m/detik).

Sedangkan koefisien angin untuk gedung tertutup :

a. Dinding vertikal

- Di pihak angin + 0,9 ..... (2.3.2)

- Di belakang angin - 0,40 ..... (2.3.3)

b. Atap segitiga dengan sudut kemiringan  $\alpha$

- Dipihak angin :  $\alpha < 65^\circ = 0,02\alpha - 0,4$  ..... (2.3.4)

$$65^\circ < \alpha < 90^\circ = + 0,90 \dots\dots\dots (2.3.5)$$

- Dibelakang angin, untuk semua  $\alpha = - 0,40 \dots\dots\dots (2.3.6)$

#### 4. Beban Gempa (E)

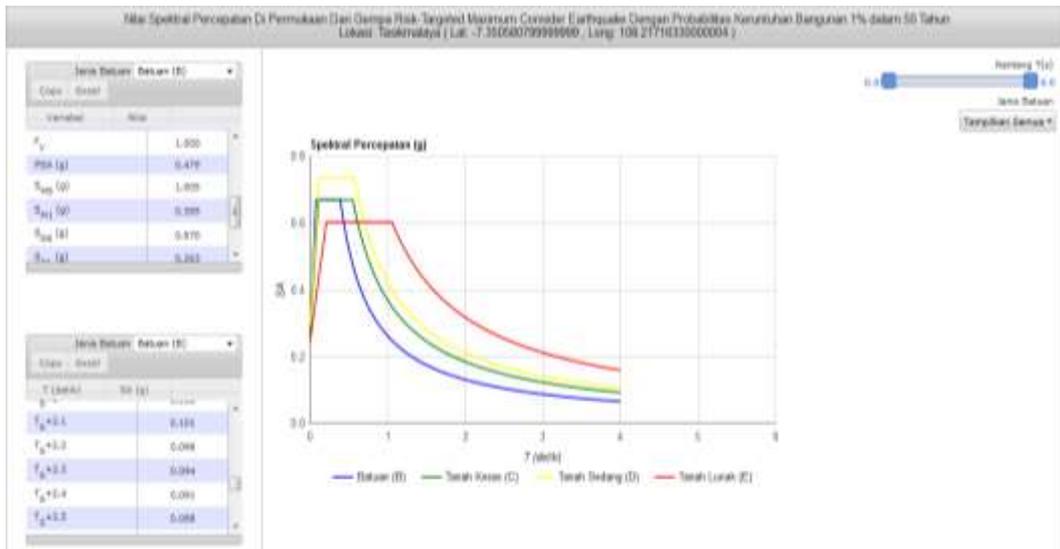
Gempa bumi adalah fenomena getaran yang dikaitkan dengan kejutan pada kerak bumi. Beban kejut ini dapat disebabkan oleh banyak hal, tetapi salah satu yang utama adalah benturan pergesekan kerak bumi yang mempengaruhi permukaan kerak bumi. Lokasi gesekan ini terjadi disebut *fault zones*. Kejutan yang berkaitan dengan benturan tersebut menjalar dalam bentuk gelombang. Gelombang ini menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya bergetar. Pada saat bangunan bergetar, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dari gerakan. Gaya yang timbul ini disebut inersia. Besar gaya-gaya tersebut bergantung pada banyak faktor. Massa bangunan merupakan faktor yang paling utama karena gaya tersebut melibatkan inersia. Faktor lain adalah bagaimana massa tersebut terdistribusi, kekakuan struktur, kekakuan tanah, jenis Pondasi, adanya mekanisme redaman pada bangunan, dan tentu saja perilaku dan besar getaran itu sendiri. Yang terakhir ini sulit ditentukan secara tepat karena sifatnya yang acak (*random*) sekalipun kadangkala dapat juga tertentu.

Massa dan kekakuan struktur, juga periode alami getaran yang berkaitan merupakan faktor terpenting yang mempengaruhi respon keseluruhan struktur terhadap gerakan dan besar serta perilaku gaya-gaya yang timbul sebagai akibat gerakan tersebut. Salah satu cara untuk memahami fenomena-fenomena yang terlibat dapat ditinjau terlebih dahulu bagaimana suatu struktur kaku memberikan



Untuk mengetahui grafik spektrum respons gempa menggunakan program grafik gempa yang tersedia pada website resmi :

[http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/)



**Gambar 2.2** Grafik Spektrum Respons Gempa Kota Tasikmalaya

Dalam SNI 1726-2010, Struktur bangunan gedung dibedakan berdasarkan kategori risiko yang ditentukan berdasarkan jenis pemanfaatan struktur tersebut. Terkait dengan kategori risiko adalah factor keutamaan gempa. Faktor ini digunakan untuk mengamplifikasikan beban gempa rencana, sehingga beberapa struktur dengan pemanfaatan khusus tetap dapat beroperasi setelah terjadinya gempa bumi sehingga dapat meminimalisir kerugian/ kerusakan yang timbul.

**Table 2.4** Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa
<p>Gedung dan Non Gedung yang memiliki risiko rendah terhadap Jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I	1,00
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II	1,00
<p>Gedung dan Non Gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap Jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> </ul>		

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan Non Gedung, tidak termasuk kategori IV, yang berpotensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/ gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan Limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul>	III	1,25
<p>Gedung dan Non Gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah sakit dan Fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin, badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat darurat.</li> </ul>	IV	1,5

Sumber: SNI 1726:2012

Lapisan tanah pada lokasi suatu proyek dapat dikategorikan menjadi beberapa kelas situs. Klasifikasi kelas situs dilakukan berdasarkan pada hasil tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata.

**Table 2.5** Klasifikasi Situs

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{60}$	$\bar{s}_v$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

Sumber: SNI 1726:2012

Setelah ditentukan kelas situs maka berdasarkan  $S_1$  dan  $S_s$  dapat ditentukan koefisien situs.  $F_a$  merupakan faktor amplifikasi getaran yang terkait percepatan pada getaran periode pendek,  $F_v$  merupakan faktor amplifikasi getaran yang terkait percepatan pada getaran periode 1 detik.

**Table 2.6** Koefisien Sitis ,  $F_a$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, $S_s$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS <sup>b</sup>				

**Table 2.7** Koefisien Sitis ,  $F_v$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan pada periode 1 detik, $S_1$				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS <sup>b</sup>				

Sumber: SNI 1726:2012

### A. Perhitungan Beban Gempa Statik

Tahapan perhitungannya berdasarkan SNI-1726-2012:

#### a. Parameter Percepatan Gempa

Parameter  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar dari periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respon spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik, dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi, bila  $S_1 \leq 0,04 g$  dan  $S_s \leq 0,15 g$ , maka struktur bangunan dimasukkan kategori kelas seismik A.

Untuk nilai parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan untuk perioda pendek ( $S_s$ ), serta parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan untuk perioda 1,0 detik ( $S_1$ ) didapatkan dari SNI-1726-2012 pada Pasal 14 atau bisa didapatkan dari hasil tabel grafik spectrum respons gempa untuk Kota Tasikmalaya dengan keadaan tanah sedang.

$$S_{ms} = F_a \cdot S_s \dots\dots\dots (2.3.7)$$

$$S_{m1} = F_v \cdot S_1 \dots\dots\dots (2.3.8)$$

Keterangan:

$S_s$  = parameter respon spektral percepatan gempa untuk periode pendek

$S_1$  = parameter respon spektral percepatan gempa untuk periode 1,0 detik

#### b. Parameter Percepatan Spektral Desain

Menghitung parameter percepatan spektrum desain untuk periode pendek ( $S_{ds}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{d1}$ ). Berdasarkan SNI-1726-2012:

$$S_{ds} = 2/3 \cdot S_{ms} \dots\dots\dots (2.3.9)$$

$$S_{d1} = 2/3 \cdot S_{m1} \dots\dots\dots (2.3.10)$$

c. Waktu Getar Alami

Perioda fundamental pendekatan ( $T_a$ ) dalam detik dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t \cdot H^x \dots\dots\dots (2.3.11)$$

Keterangan:

H = ketinggian struktur (m)

$C_t \cdot H^x$  = koefisien yang diperoleh dari table

**Table 2.8** Koefisien Situs ,  $C_t$  dan  $x$

Tipe struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

Sumber: SNI 1726:2012

d. Perhitungan Koefisien Respons Seismik

- Koefisien respons seismik,  $C_s$  harus dihitung dengan persamaan:

$$C_s = \frac{SDS}{(R/I)} \dots\dots\dots (2.3.12)$$

Keterangan:

$S_{ds}$  = parameter percepatan spektrum respon desain dalam rentang perioda pendek

R = faktor modifikasi respon

I = faktor keutamaan gempa

- Nilai  $C_s$  yang dihitung sesuai dengan persamaan di atas tidak boleh melebihi:

$$C_{s(max)} = \frac{S_{D1}}{T^{1(\frac{R}{I})}} \dots\dots\dots (2.3.13)$$

- Nilai  $C_s$  yang dihitung juga tidak boleh kurang dari:

$$C_{s(min)} = 0,044 \cdot S_{ds} \cdot I \geq 0,01 \dots\dots\dots (2.3.14)$$

- Perhitungan Beban Geser Dasar Seismik Statik Ekivalen

Geser dasar seismik (V), dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W \dots\dots\dots (2.3.15)$$

Dimana:

$C_s$  = Koefisien Respons Seismik

W = Berat Total Bangunan

**B. Perhitungan Gempa Dinamik**

Membuat spektrum respons desain berdasarkan SNI-1726-2012:

- Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$  sama dengan  $S_{ds}$ .

b. Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$  diambil menggunakan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{d1}}{T} \dots\dots\dots (2.3.16)$$

c. Untuk membuat periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , nilai  $S_a$  menggunakan persamaan berikut:

$$S_a = S_{ds} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots (2.3.17)$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{d1}}{S_{ds}} \dots\dots\dots (2.3.18)$$

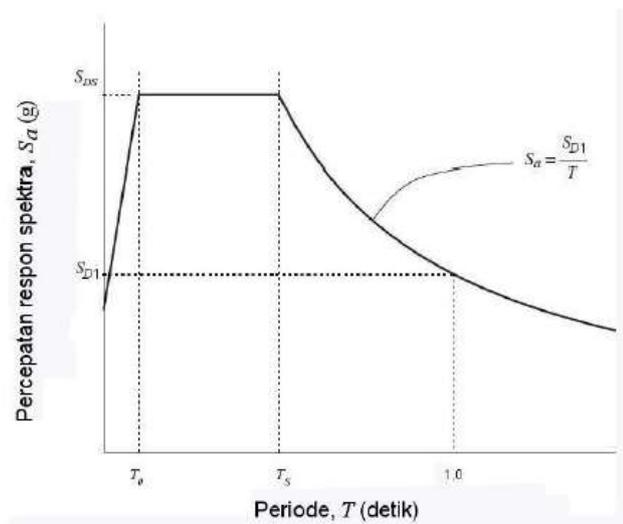
$$T_s = \frac{S_{d1}}{S_{ds}} \dots\dots\dots (2.3.19)$$

Keterangan:

$S_{ds}$  = parameter respon spektral percepatan desain pada perioda pendek

$S_{d1}$  = parameter respon spektral percepatan desain pada perioda 1 detik

$T$  = perioda getar fundamental struktur



**Gambar 2.3** Spektrum Respon Desain SNI -1726-2012

## 5. Beban Konstruksi

Unsur struktur umumnya dirancang untuk beban mati dan beban hidup, akan tetapi unsur tersebut dapat dibebani oleh beban yang jauh lebih besar dari beban rencana ketika bangunan didirikan. Beban ini dinamakan beban konstruksi dan merupakan pertimbangan yang penting dalam rancangan unsur struktur.

### 2.3.2 Kombinasi Pembebanan

Dengan mengacu pada kombinasi pembebanan Menurut pasal 9.2 SNI 2847:2013, struktur dan komponen-elemen struktur dan elemen-elemen Pondasi harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut:

#### 1. Kuat Perlu

Kuat perlu  $U$  untuk menahan beban mati  $D$  paling tidak harus sama dengan

$$U = 1,4 D \dots \dots \dots (2.3.20)$$

Kuat perlu  $U$  untuk menahan beban mati  $D$ , beban hidup  $L$ , dan juga beban atap  $A$  atau beban hujan  $R$ , paling tidak harus sama dengan

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R) \dots \dots \dots (2.3.21)$$

Bila ketahanan struktur terhadap beban angin  $W$  harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka pengaruh kombinasi beban  $D$ ,  $L$ , dan  $W$  berikut harus ditinjau untuk menentukan nilai  $U$  yang terbesar, yaitu:

$$U = 1,2 D + 1,6 (A \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W) \dots \dots \dots (2.3.22)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2.3.23)$$

Dimana kombinasi beban harus memperhitungkan kemungkinan beban hidup  $L$  yang penuh dan kosong untuk mendapatkan kondisi yang paling berbahaya, dan

$$U = 0,9 D \pm 1,6 W \dots\dots\dots (2.3.24)$$

Perlu dicatat bahwa untuk setiap kombinasi beban  $D$ ,  $L$ , dan  $W$ , kuat perlu  $U$  tidak boleh kurang dari Pers. (2.2.8)

Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa ( $E$ ) harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka nilai kuat perlu  $U$  harus diambil sebagai:

$$U = 0,9 D \pm 1,0 E \dots\dots\dots (2.3.25)$$

Dalam hal ini nilai  $E$  ditetapkan berdasarkan ketentuan **SNI 1726:2012** tentang standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung.

Maka kombinasi pembebanan yang digunakan adalah kombinasi beban untuk metoda ultimit dan kombinasi beban untuk metode tegangan ijin pada SNI-1726-2012 pasal 4.2.2 dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut :

**Table 2.9** Kombinasi Pembebanan Ultimit

Nama Kombinasi	Kombinasi Pembebanan
COMB 1	1,4D
COMB 2	1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr atau R)

COMB 3	$1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W )$
COMB 4	$1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
COMB 5	$1,2D + 1,0E + L$
COMB 6	$0,9D + 1,0W$
COMB 7	$0,9D + 1,0E$

Kombinasi beban untuk metoda tungan ijin dimana beban-beban harus ditinjau dengan kombinasi-kombinasi berikut untuk perencanaan struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi berdasarkan metoda tungan ijin, sebagai berikut:

**Table 2.10** Kombinasi Pembebanan Tegangan Ijin

Nama Kombinasi	Kombinasi Pembebanan
COMB 1 8	D
COMB 2 9	D + L
COMB 3 10	D + (Lr atau R)
COMB 4 11	$D + 0,75 L + 0,75 (Lr \text{ atau } R)$
COMB 5 12	D + (0,6W atau 0,7E)
COMB 6 13	$D + 0,75 (0,6W \text{ atau } 0,7E) + 0,75L + 0,75 (Lr \text{ atau } R)$
COMB 7 14	$0,6D + 0,6W$
COMB 8 15	$0,6D + 0,7E$

Keterangan :

*D* : *Beban mati ( Dead )*

*L* : *Beban hidup ( Live )*

*Lr* : *Beban Hidup atap*

*R* : *Beban Hujan*

*W* : *Beban Angin ( Wind )*

*E* : *Beban gempa ( Earthquake )*

#### **2.4 Perencanaan Desain Elemen Struktur**

Proses disain elemen struktur dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu:

(1) Desain umum, merupakan peninjauan secara garis besar keputusan-keputusan desain. Tipe struktur dipilih dari berbagai alternatif yang memungkinkan. Tata letak struktur, geometri atau bentuk bangunan, jarak antar kolom, tinggi lantai dan material bangunan ditetapkan secara baik dalam tahap ini. (2) Desain terinci, mencakup peninjauan tentang penentuan besar penampang tentang balok, kolom, dan elemen struktur lainnya.

Struktur harus mampu memikul beban rancang secara aman tanpa kelebihan tegangan pada material dan mempunyai deformasi yang masih dalam daerah yang diizinkan. Kemampuan suatu struktur untuk memikul beban tanpa ada kelebihan tegangan diperoleh dengan menggunakan faktor keamanan dalam desain elemen struktur. Dengan memilih ukuran serta bentuk elemen dan bahan yang digunakan, taraf tegangan pada struktur dapat ditentukan pada taraf yang dipandang masih dapat diterima secara aman, dan sedemikian hingga kelebihan tegangan pada material ( misalnya ditunjukkan dengan adanya retak ) tidak terjadi. Untuk

melakukan analisis maupun desain elemen struktur perlu ditetapkan kriteria yang dapat digunakan sebagai ukuran maupun untuk menentukan apakah struktur tersebut dapat diterima untuk penggunaan yang diinginkan atau untuk maksud desain tertentu. Pada umumnya, kriteria-kriteria yang ditetapkan yaitu kemampuan layan, efisiensi, konstruksi, harga, kriteria berganda dan lain-lain.

Struktur bangunan gedung terdiri dari elemen-elemen struktur yang menyatu menjadi satu kesatuan struktur bangunan Gedung yang utuh. Pada dasarnya, elemen-elemen struktur pada bangunan gedung yaitu pelat, tangga, balok, kolom, dan pondasi.

#### **2.4.1 Pelat Lantai**

Pelat beton bertulang adalah struktur tipis yang dibuat dari beton bertulang dengan bidang yang arahnya horizontal, beban yang bekerja tegak lurus pada bidang struktur tersebut. Ketebalan bidang pelat ini relatif sangat kecil apabila dibandingkan dengan bentang panjang/lebar bidangnya. 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.

Dalam 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.

**Table 2.11** 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

**CATATAN :**

*Panjang bentang dalam mm.*

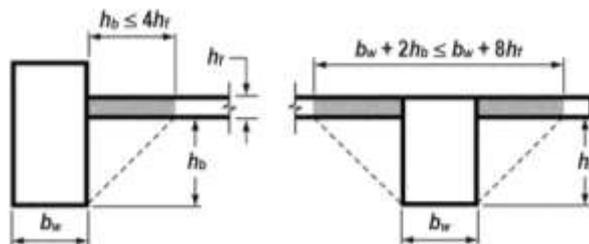
Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasi sebagai berikut :

- (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*),  $W_c$ , di antara 1440 sampai 1840 kg/m<sup>3</sup>, 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 2.4** 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.

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

$$h = \frac{\ell_n \left[ 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right]}{36 + 5 \cdot \beta \cdot (\alpha_m - 0,2)} \dots\dots\dots (2.4.1)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm

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

$$h = \frac{\ell_n \left[ 0,8 - \frac{f_y}{1400} \right]}{36 - 9 \cdot \beta} \dots\dots\dots (2.4.2)$$

Dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

dengan:

$h$  = tebal pelat minimum (cm).

$F_y$  = tulangan leleh baja tulangan (MPa).

$\alpha$  = 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.

$\alpha_m$  = nilai rata-rata  $\alpha$  untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel.

$\beta$  = rasio bentang bersih dalam suatu arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah.

$\ell_n$  = 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.

4. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan  $\alpha$  tidak kurang dari 0,8.

$$5. \alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cp} \cdot I_p} \dots\dots\dots (2.4.3)$$

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

$$q_u = 1,2q_D + 1,6q_L \dots\dots\dots (2.4.4)$$

Dengan :  $q_u$  = beban ultimit

$q_D$  = beban mati

$q_L$  = beban hidup

**C. Mencari tebal efektif pelat**

Untuk menentukan tinggi efektif pelat ditinjau dari dua arah yaitu :

Arah X  $dx = h - d' - \frac{1}{2} \text{Ø}$  tulangan arah x ..... (2.4.5)

Arah Y  $dy = h - d' - \text{Ø}_x - \frac{1}{2} \text{Ø}$  tulangan arah y..... (2.4.6)

Dengan :  $d'$  = selimut beton (mm)

$\text{Ø}$  = diameter tulangan (mm)

**D. Mencari Momen**

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

$l_y / l_x$	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
	$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_y^2 \cdot X$	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
	$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_y^2 \cdot X$	21	21	20	19	18	17	16	14	13	12	12	11	11	11	10	10	8
III	$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	52	59	64	69	73	76	79	81	82	83	83	83	83	83	83	83	83
	$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_y^2 \cdot X$	52	54	56	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
IV A	$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	28	33	38	42	45	48	51	53	55	57	58	59	59	60	61	61	63
	$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_y^2 \cdot X$	28	28	28	27	26	25	23	23	22	21	19	18	17	17	16	16	13
IV B	$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	68	77	85	92	98	103	107	111	113	116	118	119	120	121	122	122	125
	$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_y^2 \cdot X$	68	72	74	76	77	77	78	78	78	78	79	79	79	79	79	79	79
V A	$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	22	28	34	42	49	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125
	$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_y^2 \cdot X$	32	35	37	39	40	41	41	41	41	40	39	38	37	36	35	35	25
V B	$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	70	79	87	94	100	105	109	112	115	117	119	120	121	122	123	123	125
	$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_y^2 \cdot X$	70	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	84	83	83	83	83
VI A	$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	31	38	45	53	60	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125
	$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_y^2 \cdot X$	37	39	41	41	42	42	41	41	40	39	38	37	36	35	34	33	25
VI B	$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	84	92	99	104	109	112	115	117	119	121	122	122	123	123	124	124	125
	$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_y^2 \cdot X$	37	41	45	48	51	53	55	56	58	59	60	60	60	61	61	62	63
VII A	$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15	13
	$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_y^2 \cdot X$	84	92	98	103	108	111	114	117	119	120	121	122	122	123	123	124	125
VII B	$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	21	26	31	36	40	43	46	49	51	53	55	56	57	58	59	60	63
	$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_y^2 \cdot X$	26	27	28	28	27	26	25	23	22	21	21	20	20	19	19	18	13
VIII A	$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	55	65	74	82	89	94	99	103	106	110	114	116	117	118	119	120	125
	$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_y^2 \cdot X$	60	65	69	72	74	76	77	78	78	78	78	78	78	78	78	78	79
VIII B	$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	26	29	32	35	36	38	39	40	40	41	41	42	42	42	42	42	42
	$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_y^2 \cdot X$	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	11	11	10	10	10	10	8
VIII C	$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	60	66	71	74	77	79	80	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83
	$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_y^2 \cdot X$	55	57	57	57	58	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 (2010:267)

**E. Mencari nilai koefisien tahanan (k)**

$$k = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} \dots\dots\dots (2.4.7)$$

Dengan :  $k$  = koefisien tahanan

$M$  = momen yang ditinjau

$b$  = lebar permeter pelat

$d$  = tinggi efektif pelat

$\emptyset$  = Faktor reduksi

Dalam perhitungan tulangan dibutuhkan faktor momen pikul maksimal ( $K_{maks}$ ). Nilai  $K_{maks}$  bergantung mutu beton ( $f'c$ ) serta mutu baja tulangan ( $f_y$ ).

**Table 2.12** Faktor Momen Pikul Maksimal ( $K_{maks}$ ) dalam MPa

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

**F. Penulangan Pelat**

$$a = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.K}{0,85.f'c}} \right) . d \dots\dots\dots (2.4.8)$$

Dipilih luas tulangan pokok dengan memilih nilai yang besar berikut :

$$A_{s,u} = \frac{0,85.f'c.a.b}{f_y} \dots\dots\dots (2.4.9)$$

Jika  $f'c \leq 31,36MPa$  , maka  $A_{s,u} = \frac{1,4}{f_y} . b . d \dots\dots\dots (2.4.10)$

Jika  $f'c \geq 31,36MPa$  , maka  $A_{s,u} = \frac{\sqrt{f'c}}{4f_y} . b . d \dots\dots\dots (2.4.11)$

Dihitung jarak tulangan, S:

$$s = \frac{\frac{1}{4} . \pi . D^2 . b}{A_{s,u}} , s \leq 450 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.4.12)$$

$$s \leq 2.h \dots\dots\dots (2.4.13)$$

Tulangan Bagi/ tulangan susut dan suhu:

1.  $A_{s,b} = 20 \% . A_{s,u} \dots\dots\dots (2.4.14)$

2.  $f_y \leq 300 \text{ MPa}$  ,  $A_{s,b} = 0,002 . b . h \dots\dots\dots (2.4.15)$

$f_y = 400 \text{ MPa}$  ,  $A_{s,b} = 0,0018 . b . h \dots\dots\dots (2.4.16)$

$f_y > 400 \text{ MPa}$  ,  $A_{s,b} = 0,0018 . b . h (400/f_y) \dots\dots\dots (2.4.17)$

3.  $A_{s,b} \geq 0,0014 . b . h \dots\dots\dots (2.4.18)$

Jarak tulangan bagi :

$$s = \frac{\frac{1}{4} . \pi . D^2 . b}{A_{s,u}} \dots\dots\dots (2.4.19)$$

$$s \leq 5.h, s \leq 450 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.4.20)$$

Pengecekan Tulangan :

$$A_{s,tul} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot s \dots\dots\dots (2.4.21)$$

$$A_{s,tul} \geq A_{s,u} \dots\dots\dots (OK) \dots\dots\dots (2.4.22)$$

$$A_{s,tul} \geq A_{s,b} \dots\dots\dots (OK) \dots\dots\dots (2.4.23)$$

Keterangan:

$A_{s,u}$  = Luas tulangan perlu ( $\text{mm}^2$ )

$a$  = tinggi pelat tegangan beton (mm)

$A_{s,b}$  = Luas tulangan bagi ( $\text{mm}^2$ )

$S$  = jarak bersih antar tulangan (mm)

$A_{s,tul}$  = Luas tulangan pakai ( $\text{mm}^2$ )

$D$  = diameter tulangan (mm)

### 2.4.2 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  $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_c}$ .
2. Penampang *over-reinforced*. Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada awal keruntuhan, regangan baja  $\varepsilon_s$  yang terjadi masih lebih kecil daripada regangan lelehnya  $\varepsilon_y$ . 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  $\varepsilon_y$ . 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.

h: menentukan tinggi balok

$$h_{min} = \frac{\ell}{16} \dots\dots\dots(2.4.25)$$

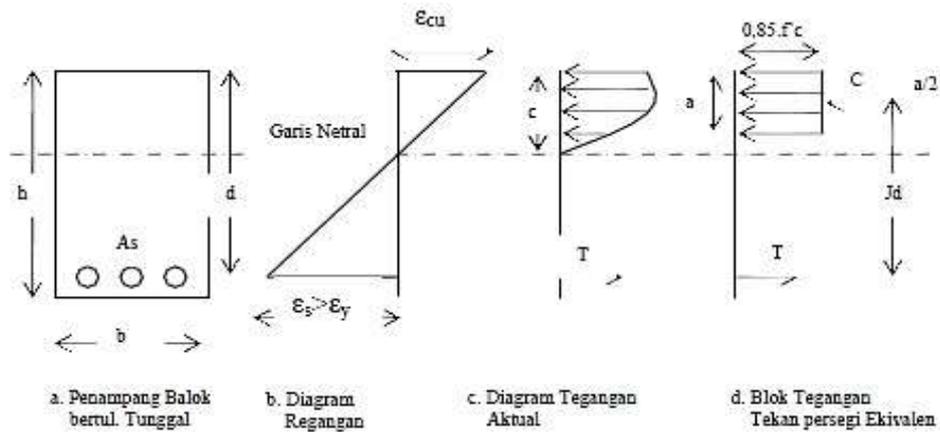
b : menentukan lebar balok

$$b_{min} = \frac{1}{2} \times h \dots\dots\dots(2.4.26)$$

$$\frac{b - 2.d''}{D + S_n} + 1 \text{ menentukan jumlah maksimum untuk tulangan} \dots\dots(2.4.24)$$

**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 Tunggal

Keterangan notasi pada **Gambar 2.6** :

a : tinggi balok tegangan beton tekan persegi ekivalen = β<sub>1</sub>.c , mm.

$$a = \beta_1 \cdot c \dots\dots\dots (2.4.27)$$

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

$b$  : lebar penampang balok, mm.

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

$C_c$  : 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.

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s \dots\dots\dots (2.4.28)$$

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

$h$  : tinggi penampang balok, mm.

$M_n$  : momen nominal aktual, kNm.

$T_s$  : gaya tarik baja tulangan, kN.

$\beta_1$  : 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  $\beta_1 = 0,65$

$\epsilon'_c$  : regangan tekan beton,

dengan  $\epsilon'_c$  maksimal ( $\epsilon'_{cu}$ ) = 0,003

$\epsilon_s$  : regangan tarik baja tulangan.

$\epsilon'_s$  : regangan tekan baja tulangan.

$$\epsilon'_s = \frac{(c - d'_s)}{c} \cdot \epsilon'_{cu} \dots\dots\dots (2.4.29)$$

$\epsilon_y$  : regangan tarik baja tulangan pada saat leleh,

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{f_y}{200000} \dots\dots\dots (2.4.30)$$

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 ( $\epsilon_{cu}'$ ) = 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 :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \dots\dots\dots (2.4.31)$$

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 :

$$T_s = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2.4.32)$$

## 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 :

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b}{f_y} \dots\dots\dots (2.4.33)$$

$$A_{tul} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \dots\dots\dots (2.4.34)$$

$$n = \frac{A_{s,u}}{A_{s,tul}} \dots\dots\dots (2.4.35)$$

$$A_s = n_{tul} \cdot x_{tul} \dots\dots\dots (2.4.36)$$

Momen nominal dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$M_n = C_c \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \text{ atau } M_n = T_s \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (2.4.37)$$

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

$$K = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \text{ atau } K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \dots\dots\dots (2.4.38)$$

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

$$a = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.K}{0,85.f'c}} \right) . d \dots\dots\dots (2.4.39)$$

Untuk regangan tekan beton  $\varepsilon_c'$  dibatasi sampai batas retak  $\varepsilon_{cu}'$  sebesar 0,003. Nilai regangan  $\varepsilon_c'$  (bukan  $\varepsilon_{cu}'$ ) ini dapat ditentukan berdasarkan diagram distribusi regangan didapat rumus :

$$\varepsilon_c' = \frac{a}{\beta_1 . d - a} . \varepsilon_y \dots\dots\dots (2.4.40)$$

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  $\varepsilon_c'$  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 :

$$a = \frac{A_s . f_y}{0,85 . f'c . b} \dots\dots\dots (2.4.41)$$

- 2) Moment rencana dihitung dengan persamaan :

$$M_r = \phi . M_n, \text{ dengan } \phi = 0,8 \dots\dots\dots (2.4.42)$$

$$M_r < M_u \text{ (Aman)} \dots\dots\dots (2.4.43)$$

### A. Keruntuhan lentur dan sistem perencanaan

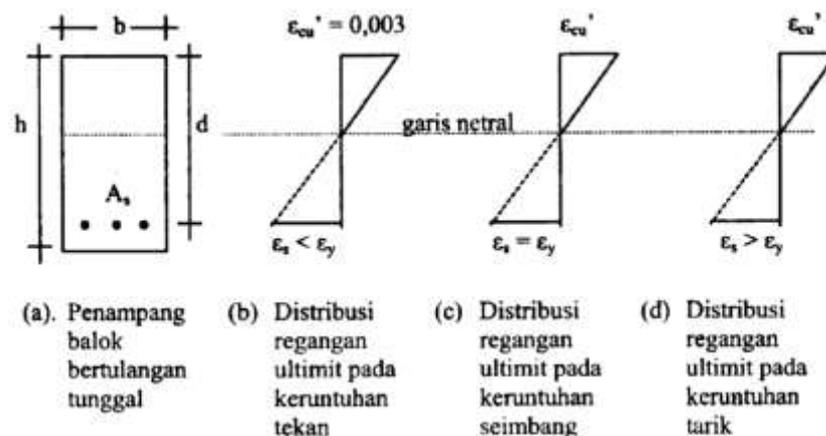
#### a. Jenis keruntuhan lentur

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

- 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 ( $\rho$ ) 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.

- 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  $\rho_b$ .

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.

- Keruntuhan tarik ( *ductile failure* )

Pada keadaan penampang beton dengankeruntuhan 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

(  $\rho$  ) 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.

b. Sistem perencanaan yang digunakan

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

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

$$A_s \text{ harus } \geq A_{s \text{ min}} \text{ atau } \rho \geq \rho_{\text{min}} \text{ dengan } \rho = \frac{A_s}{(b.d)} \dots\dots\dots (2.4.44)$$

dengan :

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

$$A_{s,\text{min}} = \frac{1,4}{fy} .b.d \text{ ( dipilih yang besar )} \dots\dots\dots (2.4.45)$$

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

( dipilih yang besar )..... (2.4.46)

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

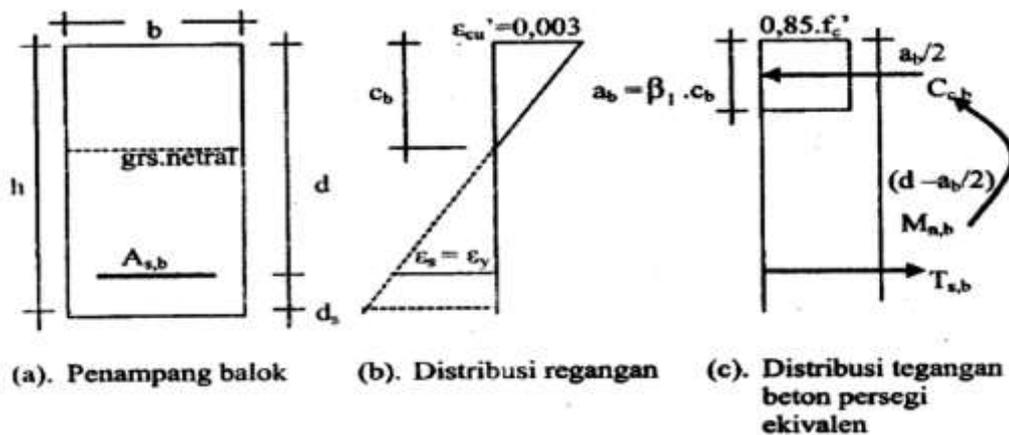
$$A_s \text{ harus } \leq A_{s \text{ min}} \text{ atau } \rho \leq \rho_{\min} \text{ dengan } \rho = \frac{A_s}{(b.d)}$$

dengan :  $A_{s \text{ maks}} = 0,75 . A_{s,b}$  dan  $\rho_{\text{maks}} = 0,75 . \rho_b$ ..... (2.4.47)

**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 :

$$\varepsilon_c' = \varepsilon_{cu}' = 0,003 \text{ dan } \varepsilon_s = \varepsilon_y \text{ atau } \varepsilon_s = \frac{fy}{E_s} = \frac{fy}{200000}$$

Nilai  $c_b$  dapat dihitung dengan rumus :

$$c_b = \frac{600 \cdot d}{600 + fy} \dots\dots\dots (2.4.48)$$

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

$$a_b = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d}{600 + fy} \dots\dots\dots (2.4.49)$$

Dalam keadaan seimbang nilai Tulangan dihitung dengan rumus :

$$A_{s,b} = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot a_b \cdot b}{fy} \dots\dots\dots (2.4.50)$$

Rasio tulangan balance :

$$\rho_b = \frac{510 \cdot \beta_1 \cdot f'c}{(600 + fy) \cdot fy} \dots\dots\dots (2.4.51)$$

Rasio tulangan maksimal dan minimal :

Penggunaan tulangan atau rasio tulangan pada system perencanaan beton

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

$$A_{s,\min} \leq A_s \leq A_{s,\maks}, \text{ atau}$$

$$\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'_c}{(600 + f_y) \cdot f_y} \dots\dots\dots (2.4.52)$$

Untuk rasio tulangan minimal, diberi batasan sebagai berikut :

1. Untuk mutu beton  $f'_c \leq 31,36 \text{MPa}$ , maka :

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots (2.4.53)$$

2. Untuk mutu beton  $f'_c \geq 31,36 \text{MPa}$ , maka :

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y} \dots\dots\dots (2.4.54)$$

Untuk rasio tulangan perlu :

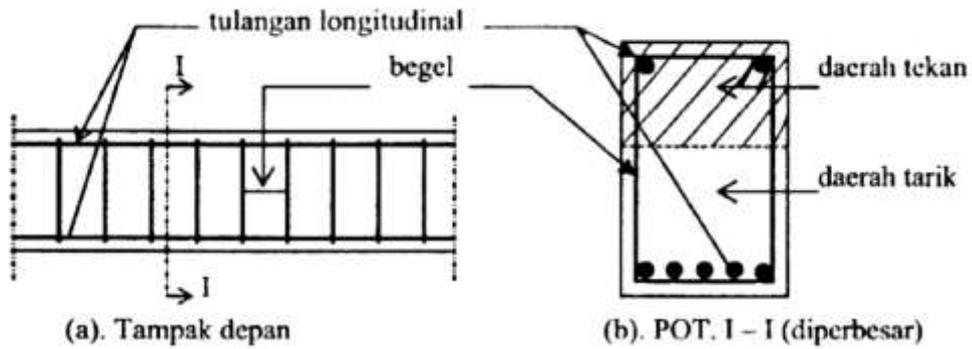
$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \dots\dots\dots (2.4.55)$$

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

$$K_{\max} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + f_y)^2} \dots\dots\dots (2.4.56)$$

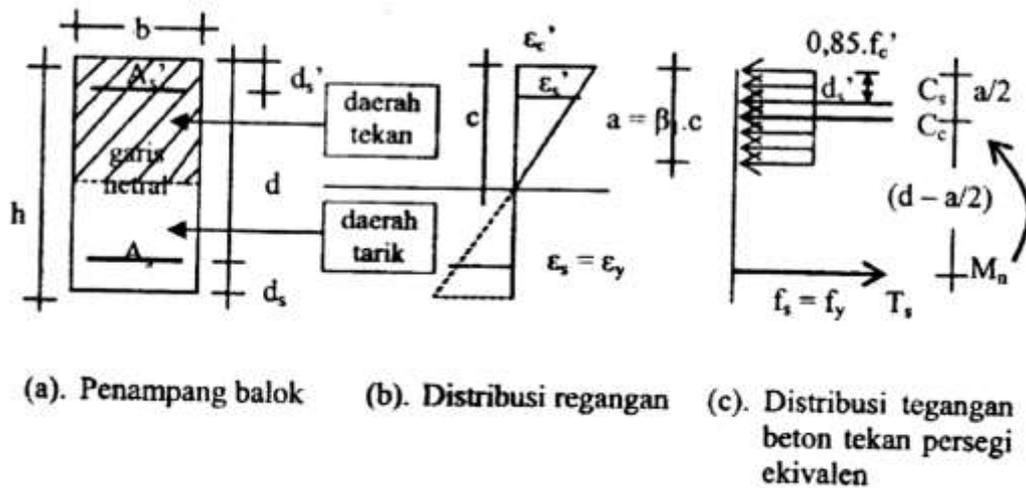
## 2. Balok Persegi Panjang dengan Tulangan Rangkap

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.

$$a = \beta_1 \cdot c \dots \dots \dots (2.4.57)$$

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

- $A_s'$  : luas tulangan tekan, mm<sup>2</sup>.
- $b$  : lebar penampang balok, mm.
- $c$  : jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan, mm.
- $C_c$  : gaya tekan beton, kN.
- $C_s$  : 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.
- $$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s \dots\dots\dots (2.4.58)$$
- $f_s'$  : 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.

$T_s$  : gaya tarik baja tulangan, kN.

$\beta_1$  : 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  $\beta_1 = 0,85$ ..... (2.4.59)

Untuk  $f'_c > 28 \text{ Mpa}$ , maka  $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \cdot (f'_c - 28)}{7}$  ..... (2.4.60)

tetapi  $\beta_1 = 0,65$ ..... (2.4.61)

$\varepsilon'_c$  : regangan tekan beton,

dengan  $\varepsilon'_c$  maksimal ( $\varepsilon'_{cu}$ ) = 0,003 ..... (2.4.62)

$\varepsilon_s$  : regangan tarik baja tulangan.

$\varepsilon'_s$  : regangan tekan baja tulangan.

$$\varepsilon'_s = \frac{(c - d'_s)}{c} \cdot \varepsilon'_{cu} \text{ ..... (2.4.63)}$$

$\varepsilon_y$  : regangan tarik baja tulangan pada saat leleh,

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{f_y}{200000} \text{ ..... (2.4.64)}$$

Tegangan tekan baja tulangan  $f_s'$  dihitung dengan rumus :

$$f_s' = \frac{a - \beta_1 d_s'}{a} \cdot 600 \dots\dots\dots (2.4.65)$$

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 :

$$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \dots\dots\dots (2.4.66)$$

Nilai momen nominal :

$$M_n = M_{nc} + M_{ns} \dots\dots\dots (2.4.67)$$

$$M_{nc} = C_c \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right), \text{ dengan } C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \dots\dots\dots (2.4.68)$$

$$M_{ns} = C_s \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right), \text{ dengan } C_s = A_s' \cdot f_s' \dots\dots\dots (2.4.69)$$

$$M_r = \phi \cdot M_n, \text{ dengan } \phi = 0,8 \dots\dots\dots (2.4.70)$$

dengan :

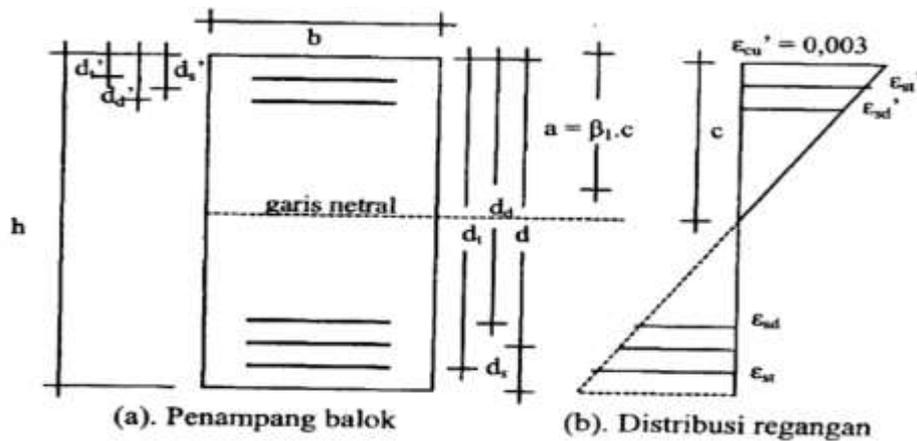
$M_n$  = momen nominal aktual penampang balok, kNm.

$M_{nc}$  = 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 :

$$c = \frac{0,003 \cdot d_d}{\frac{f_y}{200000} + 0,003} = \frac{600 \cdot d_d}{600 + f_y} \dots\dots\dots (2.4.71)$$

Tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen :

$$a_{maks,leleh} = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d_d}{600 + f_y} \dots\dots\dots (2.4.72)$$

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

$$d_d = d \dots\dots\dots (2.4.73)$$

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

Jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan :

$$c = \frac{0,003 \cdot d_d}{\frac{f_y}{200000} - 0,003} = \frac{600 \cdot d_d}{600 - f_y} \dots\dots\dots (2.4.74)$$

Tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen :

$$a_{min,leleh} = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d_d}{600 - f_y} \dots\dots\dots (2.4.75)$$

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

$$d_d = d_s' \dots\dots\dots (2.4.76)$$

- c. Manfaat nilai  $a_{maks leleh}$  dan  $a_{min leleh}$  pada hitungan beton bertulang

Nilai  $a_{maks leleh}$  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  $a_{maks}$  dan  $a_{min}$

sehingga didapat kemungkinan – kemungkinan berikut :

Untuk  $a_{maks}$  :

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

Untuk  $a_{min}$  :

- 1) Jika nilai  $a \geq a_{min\ leleh}$ , berarti semua tulangan tekan sudah leleh.
- 2) Jika nilai  $a < a_{min\ leleh}$ , 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) :

$$a = \left( \sqrt{p^2 + q} \right) - p \dots\dots\dots (2.4.77)$$

dengan :

$$p = \frac{600.A_s' - A_s . fy}{1,7.f'c.b} \dots\dots\dots (2.4.78)$$

$$q = \frac{600.\beta_1.ds'.A_s'}{0,85.f'c.b} \dots\dots\dots (2.4.79)$$

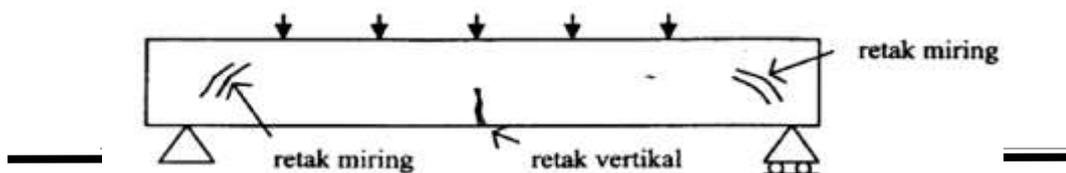
**3. Kuat Geser Balok**

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.

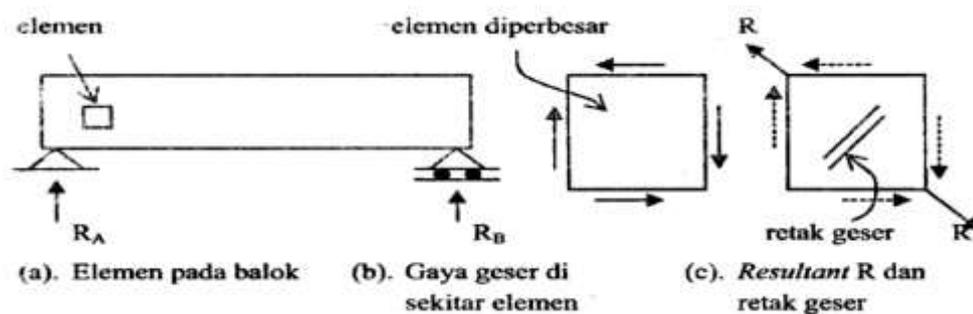
Retakan pada Balok :

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 2.12 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 2.13 Jenis Retakan pada Balok Akibat Gaya Geser

Pada gambar terjadi keadaan berikut :

- 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.
- Gaya geser ke bawah pada permukaan bidang bawah, juga juga membentuk *resultant*  $R$  yang arahnya miring ke kanan - bawah.
- Kedua *resultant* yang terjadi dari item 1 dan item 2 tersebut sama besarnya, tetapi berlawanan arah dan saling tarik - menarik.

- d. 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 :

$$V_r = \phi \cdot V_n \text{ dan } \phi \cdot V_n \geq V_u \dots\dots\dots (2.4.80)$$

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (2.4.81)$$

dengan :

$V_r$  : Gaya geser rencana, Kn

$V_n$  : Gaya geser nominal, kN

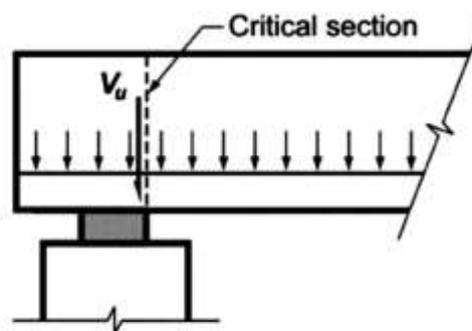
$V_c$  : Gaya geser yang ditahan oleh beton, kN

$V_s$  : Gaya geser yang ditahan oleh begel, kN

$\phi$  : Faktor reduksi geser = 0,75

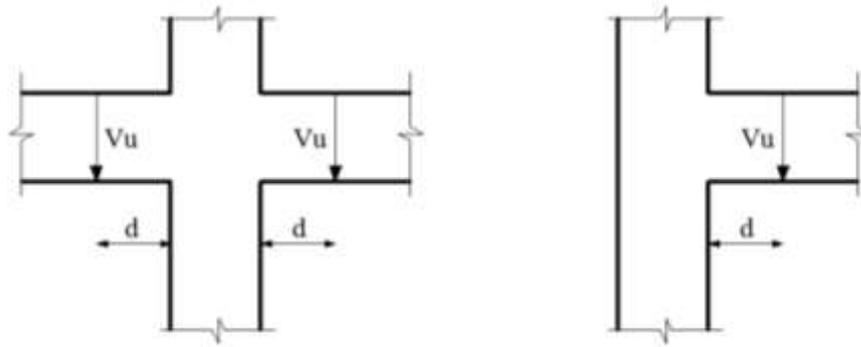
- 2) Pasal 11.1.3.1 **SNI 2847 – 2013**, nilai  $V_u$  boleh diambil pada jarak  $d$  (menjadi  $V_{ud}$ ) dari muka kolom, sebagai berikut :

$$V_{ud} = V_{ut} + \frac{x}{y} \cdot (V_u - V_{ut}) \dots\dots\dots (2.4.82)$$



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

**Gambar 2.14** Lokasi penampang kritis untuk geser pada komponen struktur terbebani di dekat bagian bawah



**Gambar 2.15** 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 :

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (2.4.83)$$

- 4) Pasal 11.4.7.1 **SNI 2847 – 2013**, gaya geser yang ditahan oleh begel ( $V_s$ ) dihitung dengan rumus :

$$V_s = \frac{(V_u - \phi \cdot V_c)}{\phi} \dots\dots\dots (2.4.84)$$

- 5) Pasal 11.4.7.9 **SNI 2847 – 2013**

$$V_s \text{ harus } \leq \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (2.4.85)$$

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

$$A_{v,u} = \frac{V_s \cdot S}{f_y \cdot d} \dots\dots\dots (2.4.86)$$

dengan S ( Panjang Balok ) = 1000 mm

b. Pasal 11.4.6.3

$$A_{v,u} = \frac{b \cdot S}{3 \cdot f_y} \dots\dots\dots (2.4.87)$$

dengan S ( Panjang Balok ) = 1000 mm

c. Pasal 11.4.6.3

$$A_{v,u} = \frac{75 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot S}{1200 \cdot f_y} \dots\dots\dots (2.4.88)$$

dengan S ( Panjang Balok ) = 1000 mm

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

$$a. s = \frac{\frac{1}{4} \cdot n \cdot \pi \cdot d_p^2 \cdot S}{A_{v,u}} \dots\dots\dots (2.4.89)$$

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

$$s \leq \frac{d}{2} \text{ dan } s \leq 600 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.4.90)$$

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

$$s \leq \frac{d}{4} \text{ dan } s \leq 300 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.4.91)$$

dengan :

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

$dp$  : diameter begel dari tulangan polos, mm

#### 4. 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 :

$$T_u \leq \frac{\phi \cdot \sqrt{f'c}}{12} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \text{ dengan } \phi = 0,75 \dots\dots\dots (2.4.92)$$

Dengan :  $A_{cp}$  : Luas penampang brutto

$P_{cp}$  : Keliling penampang brutto

Kecukupan Penampang:

a. Penampang solid

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{b.d}\right)^2 + \left(\frac{Tu.Ph}{1,7Aoh^2}\right)^2} \geq \phi \left[ \left(\frac{Vc}{b.d}\right) + 0,66\sqrt{f'c} \right] \dots\dots\dots (2.4.93)$$

b. Penampang berongga

$$\left(\frac{Vu}{b.d}\right) + \left(\frac{Tu.Ph}{1,7Aoh^2}\right) \geq \phi \left[ \left(\frac{Vc}{b.d}\right) + 0,66\sqrt{f'c} \right] \dots\dots\dots (2.4.94)$$

Dengan:

$$x_o = b - 2(p + \phi / 2) \dots\dots\dots (2.4.95)$$

$$y_o = h - 2(p + \phi / 2) \dots\dots\dots (2.4.96)$$

$$A_{oh} = x_o y_o \dots\dots\dots (2.4.97)$$

$$A_o = 0,85 A_{oh} \dots\dots\dots (2.4.98)$$

$$Ph = 2(x_o + y_o) \dots\dots\dots (2.4.99)$$

Kebutuhan Tulangan Sengkang:

$$\frac{Avt}{s} = \frac{Tn}{2A_o.fys.cot \theta} \dots\dots\dots (2.4.100)$$

$$Tn = Tu / \phi \dots\dots\dots (2.4.101)$$

$$Avt = \frac{Tn}{2A_o.fys.cot \theta} . S \dots\dots\dots (2.4.102)$$

$$A_{vs} = \left( n.1 / 4\pi d^2 . S \right) s \dots\dots\dots (2.4.103)$$

Keterangan:

$A_{vt}$  : luas tulangan torsi (sejang) per meter,  $\text{mm}^2$

$S$  : bentang balok yang dipasang sejang torsi (1000 mm)

$\theta$  : sudut retak  $45^\circ$  untuk non-prategang

Kontrol luas begel geser dan torsi ( $A_{vt} + A_{vs}$ )

$$(A_{vt} + A_{vs}) > \frac{75\sqrt{f'c}.b.S}{1200.fy}, \dots\dots\dots (2.4.104)$$

$$(A_{vt} + A_{vs}) > \frac{b.S}{3.fy} \dots\dots\dots (2.4.105)$$

Jarak begel torsi:

$$s = \frac{\left( n.1 / 4\pi d^2 . S \right)}{A_{vs} + A_{vt}} \dots\dots\dots (2.4.106)$$

$$s = \frac{Ph}{8} \dots\dots\dots (2.4.107)$$

Tulangan Memanjang:

$$A_t = \frac{A_{vt}}{s} . Ph . \left( \frac{f_{yt}}{f_y} \right) . \cot^2 \theta \dots\dots\dots (2.4.108)$$

Kontrol luas tulangan memanjang :  $A_t + A_{st}$

$$\frac{5 \cdot \sqrt{f'c} \cdot Acp}{12 \cdot fy} - \frac{Avt}{s} \cdot Ph \cdot \left( \frac{fyt}{fy} \right) \dots\dots\dots (2.4.109)$$

$$At + Ast > \frac{5 \cdot \sqrt{f'c} \cdot Acp}{12 \cdot fy} - \frac{Avt}{s} \cdot Ph \cdot \left( \frac{fyt}{fy} \right) \dots \text{Ok} \dots\dots\dots (2.4.110)$$

Keterangan:

$At$  : luas tulangan longitudinal torsi, mm<sup>2</sup>

$Ph$  : keliling daerah yang dibatasi oleh sengkang tertutup, mm

### 2.4.3 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 :

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

### **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 :

- Kolom dengan sengkang ikat (*tied column*)

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

- Kolom dengan sengkang spira (spiral column)

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

- Kolom komposit (composite column)

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

## 2. Desain Awal Kolom

Kolom harus dirancang untuk menahan gaya aksial dari beban terfaktor pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang lantai atau atap bersebelahan yang ditinjau. Kondisi pembebanan yang memberikan rasio momen maksimum terhadap beban aksial harus juga ditinjau.

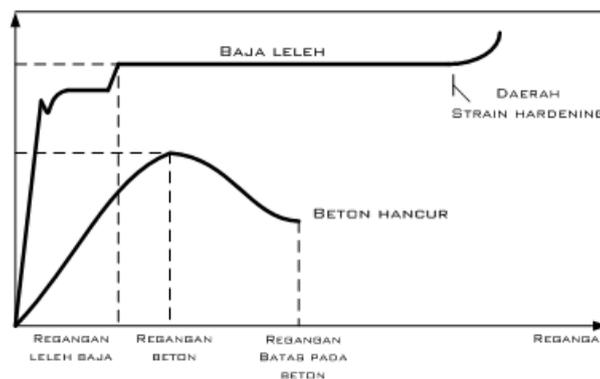
Sama halnya dengan balok, pada perencanaan kolom juga digunakan asumsi dasar.

- Pasal 10.2.3 SNI 2847-2013: Regangan maksimum yang dapat dimanfaatkan pada serat tekan beton terluar harus diasumsikan sama dengan 0,003.
- Pasal 10.2.4 SNI 2847-2013: Tegangan pada tulangan yang nilainya lebih kecil daripada kekuatan leleh  $f_y$  harus diambil sebesar  $E_s$  dikalikan regangan baja. Untuk regangan yang nilainya lebih besar dari regangan

leleh yang berhubungan dengan  $f_y$ , tegangan tulangan harus diambil sama dengan  $f_y$ .

- Pasal 10.2.7.1 SNI 2847-2013: Tegangan beton sebesar  $0,85f'_c$  diasumsikan terdistribusi secara merata pada daerah tekan ekivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar dengan sumbu netral sejarak  $a = \beta_1c$  dari serat dengan regangan tekan maksimum.
- Pasal 10.3.6 SNI 2847-2013: Desain beban aksial  $P_u$  dari komponen struktur tekan tidak boleh lebih besar dari  $\phi P_{n,max}$ ,
- Pasal 10.3.6.2 SNI 2847-2013: Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan pengikat

### 3. Kekuatan Kolom Pendek dengan Beban Sentris



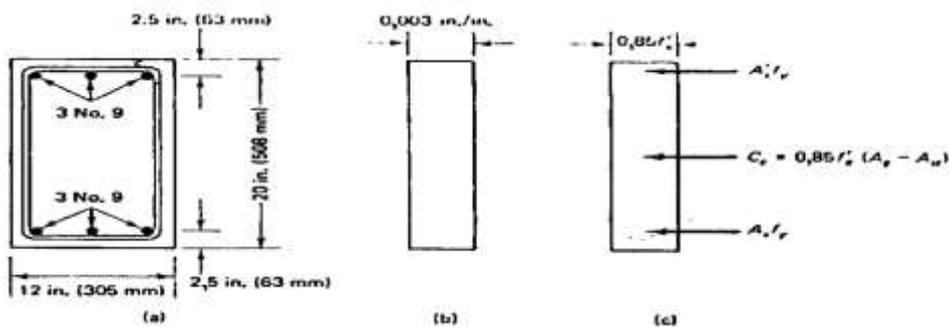
**Gambar 2.16** Hubungan tegangan regangan pada beton dan baja (beban sentris)

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 :

$$P_o = 0,85 f'c (A_g - A_{st}) + A_{st}f_y \dots \dots \dots (2.4.111)$$



**Gambar 2.17** geometri, regangan dan tegangan kolom (beban sentris); penampang melintang; (b) regangan beton; (c) tegangan (dan gaya-gaya).

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 :

$$P_n(\text{maks}) = 0,8 \left[ 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \right] \dots\dots\dots (2.4.111)$$

Untuk kolom bersengkang, dan

$$P_n(\text{maks}) = 0,85 \left[ 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \right] \dots\dots\dots (2.4.112)$$

Untuk kolom berspiral.

$$\text{Beban rencana: } P_u \leq \phi P_n \dots\dots\dots (2.4.113)$$

#### 4. Kelangsingan Kolom

Kelangsingan kolom dapat didefinisikan sebagai rasio antara tinggi kolom dengan jari-jari inersia penampang kolom,  $\lambda = L/r$ . Kelangsingan dapat mengakibatkan tekuk ataupun momen tambahan. suatu kolom disebut kolom pendek apabila memenuhi persyaratan:

- a. Berdasarkan SNI-2847-2013 Pasal 10.10.1(a) komponen struktur tekan yang tidak di-breising (*braced*) terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \dots\dots\dots (2.4.114)$$

- b. Berdasarkan SNI-2847-2013 Pasal 10.10.1(b) komponen struktur tekan yang di-breising (*braced*) terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{k l_u}{r} \leq 34 - 12 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \dots\dots\dots (2.4.115)$$

c. Untuk kolom yang tidak dapat bergoyang berlaku:

$$\frac{k \cdot \lambda_{nk} \cdot k}{r} \leq 34 - 12 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \dots\dots\dots (2.4.116)$$

$$r = \sqrt{I/A} \dots\dots\dots (2.4.117)$$

Dengan:

k = faktor panjang efektif kolom.

$\lambda_{nk}$  = panjang bersih kolom, m.

r = radius girasi atau jari-jari inersia penampang kolom, m  
 = 0,3 . h (jika kolom berbentuk persegi), m.

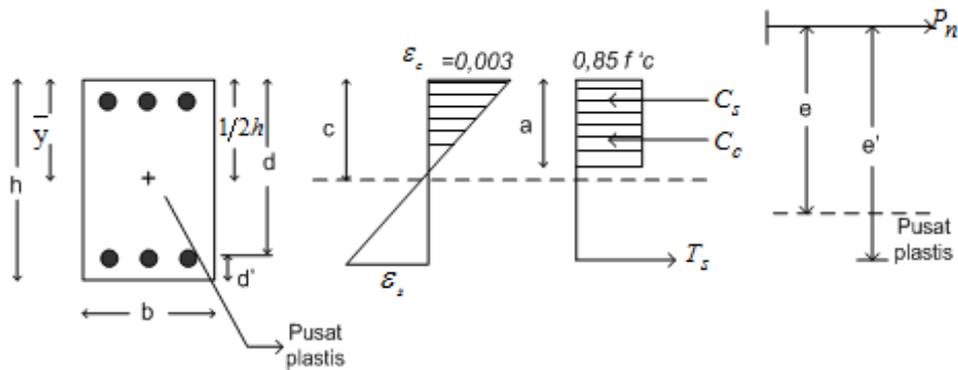
$M_1$  dan  $M_2$  = momen yang kecil dan yang besar pada ujung kolom,  
 KNm.

I dan A = momen inersia dan luas penampang kolom,  $m^4$  dan  $m^2$

Catatan : jika persyaratan pada persamaan 2.40 atau persamaan 2.41 tidak terpenuhi, maka kolom tersebut termasuk kolom panjang.

### 5. Kekuatan Kolom dengan Beban Eksentris : Aksial dan Lentur

Prinsip-prinsip pada balok mengenai distribusi tegangan segiempat ekuivalennya dapat diterapkan juga pada kolom. Pada **Gambar 2.18** memperlihatkan penampang melintang suatu kolom segi empat tipikal dengan diagram distribusi regangan, tegangan dan gaya padanya.



**Gambar 2.18** Tegangan dan gaya-gaya pada kolom

Regangan:	Tegangan:	Gaya dalam:
$\epsilon_s = 0,003 \frac{d - c}{c}$	$f_s = E_s \cdot \epsilon_s \leq f_y$	$C_c = 0,85 f'_c b a$
$\epsilon_s' = 0,003 \frac{c - d'}{c}$	$f_s' = E_s \cdot \epsilon_s' \leq f_y$	$C_s = A_s f'_s$

Eksentrisitas:

$$e = \frac{Mu}{Pu} \dots \dots \dots (2.4.118)$$

Gaya tahan aksial  $P_n$  dalam keadaan runtuh:

$$P_n = C_c + C_s - T_s \dots \dots \dots (2.4.119)$$

$$P_n = 0,85 f'_c b a + A'_s f'_s - A_s f_s \dots \dots \dots (2.4.120)$$

Momen tahanan nominal  $M_n = P_n \cdot e$

$$M_n = P_n \cdot e = C_c \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left( d - \frac{h}{2} \right) \dots \dots \dots (2.4.121)$$

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
	$M_u$	= Momen berfaktor
	$P_u$	= Gaya aksial berfaktor

## 6. Ragam Kegagalan Material pada Kolom

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

- Keruntuhan tarik, yang diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik.
- Keruntuhan tekan, yang diawali dengan hancurnya beton yang tertekan.
- 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:

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d \dots\dots\dots (2.4.122)$$

$$a_b = \beta_1 \cdot C_b = \frac{600}{600 + f_y} \beta_1 \cdot d \dots\dots\dots (2.4.123)$$

$$P_{nb} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a_b + A'_s \cdot f'_y - A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2.4.124)$$

$$M_{nb} = P_{nb} \cdot e_b = 0,85 f'_c b \cdot a_b \left( \frac{h}{2} - \frac{a_b}{2} \right) + A'_s \cdot f'_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) + A_s \cdot f_y \left( d - \frac{h}{2} \right) \dots\dots\dots (2.4.125)$$

Dimana  $f'_s = 0,003$  Es  $\frac{C_b - d'}{C_b} \leq f_y \dots\dots\dots (2.4.126)$

Keruntuhan Tarik pada Kolom Segiempat:

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

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \dots\dots\dots (2.4.127)$$

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

atau

$$M_n = P_n \cdot e = 0,85 f'_c b \cdot a \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s \cdot f_y \left( d - \frac{h}{2} \right) \dots\dots\dots (2.4.128)$$

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

$$Pn = 0,85 f'_c b \left[ \left( \frac{h}{2} - e \right) + \sqrt{\left( \frac{h}{2} - e \right)^2 + \frac{2A_s f_y (d - d')}{0,85 f'_c b}} \right] \dots\dots\dots (2.4.129)$$

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

$$Pn = 0,85 f'_c b d \left[ \frac{h - 2e}{2d} + \sqrt{\left( \frac{h - 2e}{2d} \right)^2 + 2m\rho \left( 1 - \frac{d'}{d} \right)} \right] \dots\dots\dots (2.4.130)$$

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 padatulangan tariknya lebih kecil dari pada tegangan leleh, yaitu  $f_s < f_y$ .

## 7. 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.

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{H} \dots\dots\dots (2.4.131)$$

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:

$$\phi \cdot V_n \geq V_n + V_c \dots\dots\dots (2.4.132)$$

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

$$V_c = \left(1 + \frac{Nu}{14.A_g}\right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6}\right) b_w \cdot d \dots\dots\dots (2.4.133)$$

Kontrol jarak bersih antara tulangan agar tidak terjadi segregasi pada saat pengecoran:

$$Ln = \frac{b - (2.d') - (2.\varnothing \text{ sengkang}) - (n.\varnothing \text{ tul pokok})}{n - 1} \geq 25\text{mm} \dots\dots\dots (2.4.134)$$

Pada daerah sepanjang sendi plastis (sepanjang  $\lambda_o$ ), **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.

#### 2.4.4 Perencanaan Desain Struktur Bawah

Struktur bawah dari suatu bangunan adalah fondasi. Fondasi 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 fondasi harus dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat pondasi itu sendiri, beban-beban berguna, dan gaya-gaya luar seperti tekanan angin, gempa, dan lain-lain.

##### 1. Jenis Fondasi

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

- Fondasi dangkal (*Shallow footing*) adalah fondasi yang berada pada lapisan tanah keras yang letaknya dekat dengan permukaan tanah. Seperti fondasi setempat, fondasi pelat dan fondasi menerus.
- Fondasi dalam (*Deep footing*) adalah fondasi yang berada pada lapisan tanah keras yang letaknya jauh dengan permukaan tanah. Seperti fondasi sumuran, fondasi tiang pancang, dan fondasi bored pile.

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

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

## **2. Perencanaan Fondasi Telapak**

Peraturan untuk perencanaan fondasi telapak tercantum pada pasal 11.11 dan pasal 15 **SNI 2847 – 2013**. Perencanaan fondasi harus mencakup segala aspek agar terjamin keamanannya sesuai dengan persyaratan yang berlaku, misalnya : penentuan dimensi telapak fondasi, tebal fondasi dan jumlah/jarak tulangan yang harus dipasang pada fondasi.

Secara garis besar, perencanaan fondasi yang lengkap harus memenuhi kriteria berikut :

a. Menentukan daya dukung tanah

Dimensi dan kedalaman fondasi sangat tergantung dari daya dukung tanah tersebut. Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah tersebut untuk memikul beban di atasnya yang dinyatakan satuan tegangan ( $\sigma_{ultimit}$  atau  $\bar{\sigma}$ ).

Sebelum menentukan daya dukung tanah, perlu diketahui dahulu bahwa ketahanan tanah dalam menerima beban adalah karena kuat geser (*shear strength*).

Untuk menentukan kuat geser tanah ditentukan berdasarkan rumus

*Mohr-Coulomb* :

$$T = C + \sigma \operatorname{tg} \emptyset \dots \dots \dots (2.5.1)$$

Dengan :

- T : Kuat geser tanah
- C : Kohesi
- $\sigma$  : Tegangan normal
- $\emptyset$  : Sudut gesek dalam

Untuk menentukan daya dukung tanah dasar dengan menggunakan data pengujian laboratorium ditentukan berdasarkan rumus *Terzaghi* :

$$\sigma_{ultimit} = Sc \cdot C \cdot Nc + q \cdot Nq + 0,4 \cdot B \cdot \gamma \cdot N\gamma \dots \dots \dots$$

(2.5.2=)

Dengan :

- q : Df.  $\gamma$
- $\gamma$  : Berat satuan tanah

Df : Kedalam tanah

B : Lebar pelat fondasi

Nc, Nq, Nγ : Faktor daya dukung, tergantung pada nilai Ø digrafik

**Tabel 2.5.** Daftar ukuran Sc dan Sγ

NO.	TYPE	Sc	Sγ
1.	Persegi	1,3	0,8
2.	Persegi panjang	1,0	1,0
3.	Lingkaran	1,3	0,6

Maka,  $\bar{\sigma} = \frac{1}{n} \cdot \sigma_{ultimit} \dots\dots\dots (2.5.3)$

Dengan :

$\bar{\sigma}$  : Daya dukung ijin tanah

n : Faktor keamanan = 2 atau 3

$\sigma_{ultimit}$  : Daya dukung tanah ultimit

b. Menentukan ukuran fondasi

Ukuran fondasi ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$\sigma = \frac{P_{u,k}}{B.L} + \frac{M_{u,x}}{\frac{1}{6}.L.B^2} + \frac{M_{u,y}}{\frac{1}{6}.B.L^2} + q \leq \bar{\sigma}_i \dots\dots\dots (2.5.4)$$

$$q = (h_f \cdot \gamma_c) + (h_t \cdot \gamma_t) \dots\dots\dots (2.5.5)$$

dengan :

- $\sigma$  : Tegangan yang terjadi pada dasar fondasi, kPa atau  $\text{kN/m}^2$
- $\bar{\sigma}_t$  : Daya dukung tanah, kPa atau  $\text{kN/m}^2$
- $P_{u,k}$  : Beban aksial terfaktor pada kolom, kN
- B dan L : Ukuran lebar dan panjang fondasi, m
- $M_{u,x}$  dan  $M_{u,y}$  : Momen terfaktor kolom searah sumbu x dan sumbu y, kNm
- q : Beban terbagi rata akibat berat sendiri fondasi ditambah berat tanah di atas fondasi,  $\text{kN/m}^2$
- $h_f$  : Tebal fondasi  $\geq 150$  mm  
( Pasal 15.7 SNI 2847 - 2013 )
- $h_t$  : Tebal tanah diatas fondasi, m
- $\gamma_c$  dan  $\gamma_t$  : berat per volume dari beton dan tanah,  $\text{kN/m}^3$

Setelah B dan L ditetapkan, kemudian dihitung nilai tegangan maksimal dan minimal yang terjadi pada tanah dasar dengan rumus :

$$W_y = \frac{1}{16} B \cdot L^2 \dots\dots\dots (2.5.6)$$

$$W_x = \frac{1}{16} L \cdot B^2 \dots\dots\dots (2.5.7)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{P_u}{B \cdot L} + \frac{M_{u,x}}{\frac{1}{6} \cdot L \cdot B^2} + \frac{M_{u,y}}{\frac{1}{6} \cdot B \cdot L^2} + q \leq \bar{\sigma} \dots\dots\dots (2.5.8)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{P_u}{B \cdot L} - \frac{M_{u,x}}{\frac{1}{6} \cdot L \cdot B^2} - \frac{M_{u,y}}{\frac{1}{6} \cdot B \cdot L^2} + q \leq \bar{\sigma} \dots\dots\dots (2.5.9)$$

c. Mengontrol kuat geser 1 arah

Kuat geser 1 arah dikontrol dengan cara sebagai berikut :

- Dihitung gaya geser (  $V_u$  ) akibat tekanan tanah ke atas

$$V_u = a.B \left( \frac{\sigma_{\max} + \sigma_a}{2} \right) \dots\dots\dots (2.5.10)$$

$$\sigma_a = \sigma_{\min} + \frac{(L-a)(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})}{L} \dots\dots\dots (2.5.11)$$

Dihitung gaya geser yang dapat ditahan oleh beton ( $V_c$ ), (Pasal 11.2.1.1)

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{6} . B.d \dots\dots\dots (2.5.12)$$

dan  $\sqrt{f'c}$  harus  $\leq \frac{25}{3}$  MPa ( Pasal 11.1.2 )

- Dikontrol :  $V_u$  harus  $\leq \phi.V_c$  dengan  $\phi = 0,75$  ..... (2.5.13)

d. Mengontrol kuat geser 2 arah

Kuat geser 2 arah ( geser pons ) dikontrol dengan cara sebagai berikut :

- Dihitung gaya geser pons terfaktor (  $V_u$  )

$$V_u = \{B.L - (b + d)(h + d)\} \left( \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \right) \dots\dots\dots (2.5.14)$$

- Dihitung gaya geser yang ditahan oleh beton (  $V_c$  ) dengan memilih yang terkecil dari nilai  $V_c$  berikut ( Pasal 11.11.2.1 )

$$V_c = \left( 1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \cdot \frac{\sqrt{f'c} . b_o . d}{6} \dots\dots\dots (2.5.15)$$

$$V_c = \left( 2 + \frac{\sigma_s \cdot d}{b_o} \right) \cdot \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d}{12} \dots\dots\dots$$

(2.5.16)

$$V_c = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \dots\dots\dots (2.5.17)$$

Dengan :

$\beta_c$  : Rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom, daerah beban terpusat, atau daerah reaksi.

$b_o$  : keliling dari penampang kritis pada fondasi.  
 $= 2 \cdot \{(b + d) + (h + d)\}$  , dalam mm

$\alpha_s$  : Suatu konstanta yang digunakan untuk menghitung  $V_c$  , yang nilainya bergantung pada letak fondasi.  
 40 untuk fondasi kolom dalam  
 30 untuk fondasi kolom tepi  
 20 untuk fondasi kolom sudut

- Dikontrol :  $V_u$  harus  $\leq \phi \cdot V_c$  dengan  $\phi = 0,75 \dots\dots\dots$

(2.5.18)

e. Mengitung tulangan fondasi

Dalam praktik di lapangan, biasanya fondasi dicor langsung di atas tanah, jadi selalu berhubungan dengan tanah. Menurut pasal 7.7.1 SNI 2847 – 2013, selimut beton yang selalu berhubungan dengan tanah diambil minimal 75 mm.

Pada fondasi telapak bujur sangkar, cukup dihitung tulangan satu arah saja, dan untuk arah lainnya dibuat sama dengan arah pertama. Perhitungan tulangan sebaiknya dilaksanakan pada tulangan yang menempel di atas, yaitu dengan nilai  $d_s = 75 + D + \frac{D}{2}$ . Pada fondasi telapak persegi panjang, perhitungan tulangan dilaksanakan seperti berikut :

- Hitungan tulangan sejajar sisi panjang, dilaksanakan dengan urutan :

a) Dihitung  $\sigma_x = \sigma_{\min} + \frac{(L-x)(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})}{L}$  ..... (2.5.19)

- b) Dihitung momen yang terjadi pada fondasi ( $M_u$ )

$$M_u = \frac{1}{2} \cdot \sigma_x \cdot x^2 + \frac{1}{3} \cdot (\sigma_{\max} - \sigma_x) \cdot x^2$$
 ..... (2.5.20)

- c) Dihitung faktor momen pikul K dan  $K_{\max}$

$$K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$
 .....(2.5.21)

Dengan,  $b = 1000$  mm,  $\phi = 0,80$

$$K_{\max} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1) \cdot f'c}{(600 + f_y)^2}$$
 ..... (2.5.22)

Syarat :  $K \text{ harus } \leq K_{\max}$

- d) Dihitung tinggi balok tegangan beton tekan persegi ekuivalen ( a )

$$a = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f'c}} \right) \cdot d$$
 ..... (2.5.23)

Dihitung  $A_{s,u}$  dengan rumus :

$$A_{s,u} = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b}{f_y}, \text{ dengan } b = 1000 \text{ mm}$$

Jika  $f'c \leq 31,36 \text{ MPa}$  maka  $A_{s,u} \geq \frac{1,4 \cdot b \cdot d}{f_y} \dots\dots\dots (2.5.24)$

( Pasal 10.5.1)

Jika  $f'c \geq 31,36 \text{ MPa}$  maka  $A_{s,u} \geq \frac{\sqrt{f'c} \cdot b \cdot d}{4 \cdot f_y} \dots\dots\dots (2.5.25)$

( Pasal 12.5.1)

e) Dihitung jarak tulangan ( s )

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,u}} \text{ dengan } S = 1000 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.5.26)$$

Pasal 10.5.4 :  $s \leq 3 \cdot h$  dan  $s \leq 450 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.5.27)$

f) Digunakan tulangan  $D_x - s$ ,

Luasnya  $A_s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} \dots\dots\dots (2.5.28)$

• Hitungan tulangan sejajar sisi pendek, dilaksanakan dengan urutan :

a) Diambil nilai tegangan tanah maksimal ( $\sigma_{\max}$ )

b) Dihitung momen pada fondasi (  $M_u$  )

$$M_u = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{\max} \cdot x^2 \dots\dots\dots (2.5.29)$$

Dihitung nilai K, a,  $A_{s,u}$

c) Untuk jalur pusat selebar B :

1) Dihitung :  $A_{s,pusat} = \frac{2 \cdot B \cdot A_{s,u}}{L + B} \dots\dots\dots (2.5.30)$

2) Dihitung jarak tulangan ( s ) :

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,pusat}} \text{ dengan } S = 1000 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.5.31)$$

Pasal 10.5.4 :  $s \leq 3.h$  dan  $s \leq 450 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.5.32)$

3) Digunakan tulangan  $D_x - s$

Luasnya  $A_s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} \dots\dots\dots (2.5.33)$

d) Untuk jalur tepi selebar ( L – B ) / 2:

Dihitung  $A_{s,tepi} = A_{s,u} - A_{s,pusat} \dots\dots\dots (2.5.34)$

Dihitung jarak tulangan ( s' )

$$s' = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,pusat}} \text{ dengan } S = 1000 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.5.35)$$

Digunakan tulangan  $D_x - s'$

Luasnya  $A_s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s'} \dots\dots\dots (2.5.36)$

f. Mengontrol kuat dukung fondasi

$$P_u \leq \overline{P}_u$$

$$\overline{P}_u = \phi \cdot 0,85 \cdot f'c \cdot A_1, \text{ dengan } \phi = 0,7 \dots\dots\dots (2.5.37)$$

Dengan :

$P_u$  : Gaya aksial terfaktor ( pada kolom ), N

$\overline{P}_u$  : Kuat dukung fondasi yang dibebani, N

$f'_c$  : Mutu beton yang disyaratkan, MPa

$A_s$  : Luas daerah yang dibebani, mm<sup>2</sup>

### 2.5 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 Penampang 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.