

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Laboratorium Teknik Sipil

Laboratorium menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) merupakan tempat atau kamar dan sebagainya tertentu yang dilengkapi dengan peralatan untuk mengadakan percobaan (penyelidikan dan sebagainya), sehingga Gedung Laboratorium Teknik Sipil dapat diartikan sebagai bangunan yang dijadikan tempat percobaan, penelitian, maupun aktivitas lainnya yang berkenaan dengan keilmuan teknik sipil. Di dalam perencanaan struktur sebuah Gedung Laboratorium teknik sipil ini perlu ditetapkan aspek-aspek yang akan digunakan sebagai tolak ukur untuk menentukan pemilihan jenis struktur yang akan digunakan. Beberapa kriteria yang dimaksud adalah:

1. Kemampuan Layan (*Serviceability*)

Kriteria ini merupakan kriteria dasar yang sangat penting. Struktur yang direncanakan harus memikul beban secara aman tanpa mengalami kelebihan tegangan maupun deformasi yang melebihi batas.

2. Aspek Fungsional

Perencanaan struktur yang baik sangat memperhatikan fungsi dari bangunan tersebut. Dalam kaitannya dengan penggunaan ruang, aspek fungsional sangat mempengaruhi besarnya dimensi elemen struktur bangunan yang direncanakan.

### 3. Kekuatan dan Kestabilan Struktur

Kekuatan dan kestabilan struktur mempunyai kaitan yang erat dengan kemampuan struktur untuk menerima beban-beban yang bekerja, baik beban vertikal maupun beban lateral dan kestabilan struktur baik arah vertikal maupun lateral.

### 4. Aspek Arsitektural

Aspek arsitektural dipertimbangkan berdasarkan kebutuhan jiwa manusia akan suatu keindahan. Bentuk – bentuk struktur yang direncanakan sudah semestinya mengacu pada kebutuhan yang dimaksud.

### 5. Faktor Ekonomi dan Kemudahan Pelaksanaan

Biasanya dari suatu gedung dapat digunakan beberapa sistem struktur yang bisa digunakan, maka faktor ekonomi dan kemudahan pelaksanaan merupakan faktor yang mempengaruhi sistem struktur yang dipilih.

## **2.2. Konsep Perencanaan Struktur Gedung**

Suatu struktur bangunan bertingkat tinggi harus dapat memikul beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, di antaranya beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi meliputi beban mati dan beban hidup yang membebani struktur, sedangkan yang termasuk beban lateral adalah beban angin dan beban gempa.

Kekuatan semua penampang komponen struktur dari gedung harus direncanakan sesuai dengan kriteria dasar di atas. Struktur dan komponen struktur harus direncanakan hingga semua penampang mempunyai kuat rencana

minimum sama dengan kuat perlu, yang dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor.

Perencanaan beban untuk rumah dan gedung diharuskan memperhatikan penggunaan beban – beban yang diizinkan dalam perencanaan tersebut, seperti beban – beban hidup untuk atap miring, gedung parkir bertingkat dan landasan helikopter yang dimuat praktis sudah mencakup semua jenis pesawat yang biasa dioperasikan. Termasuk juga reduksi beban hidup untuk perencanaan balok induk dan portal serta peninjauan gempa yang pemakaiannya *optional* bukan keharusan, terlebih bila reduksi tersebut membahayakan konstruksi atau unsur konstruksi yang ditinjau. (**Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, 1987**)

### **2.2.1. 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. Beban – beban yang bekerja pada struktur dihitung menurut **Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung SKBI-1.3.53.1987**.

#### **A. Beban Mati**

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.

**Tabel 2.1** Berat Sendiri Material Gedung 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 bhan-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

## B. Beban Hidup

Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban – beban pada lantai yang berasal dari barang – barang yang dapat berpindah, mesin – mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup 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.

<b>Beban Hidup</b>	<b>Berat (kg/m<sup>3</sup>)</b>
a. Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam b	200
b. Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untu toko, pabrik atau bengkel	125
c. Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250
d. Lantai ruang olahraga	400
e. Lantai ruang dansa	500

f. Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain daripada yang disebut dalam a s/d e, seperti mesjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	400
g. Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri	
h. Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam c	500
i. Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam d, e, f dan g	300
j. Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam c, d, e, f dan g	500
k. Lantai untuk pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri, dengan minimum	250 400
l. Lantai gedung parkir bertingkat:	
- Untuk lantai bawah	
- Untuk lantai tingkat lainnya	800
m. Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus	400

direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum	300
-------------------------------------------------------------------------------------	-----

**Tabel 2.2.** Beberapa intensitas beban hidup

Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1987

### C. Beban Angin

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 kekakuan 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 di daerah 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 di perkotaan atau di pedesaan. Analisis yang lebih rumit juga memasukkan renpos-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.

Bedasarkan **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  $40 \text{ kg/m}^2$
- Untuk tempat-tempat dimana terdapat kecepatan angin yang mungkin mengakibatkan tekanan tiup yang lebih besar, tekanan tiup angin ( $p$ ) dapat ditentukan berdasarkan rumus :

$$p = \frac{v^2}{16} (\text{kg} / \text{m}^2) \dots\dots\dots(2.1.1.)$$

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

Sedangkan koefisien angin untuk gedung tertutup :

a. Dinding vertikal

- Di pihak angin ..... + 0,9
- Di belakang angin .....- 0,40

b. Atap segitiga dengan sudut kemiringan  $\alpha$

- Dipihak angin :  $\alpha < 65^\circ$  ..... $0,02\alpha-0,4$   
 $65^\circ < \alpha < 90^\circ$  ..... + 0,90
- Dibelakang angin, untuk semua  $\alpha$  ..... - 0,40

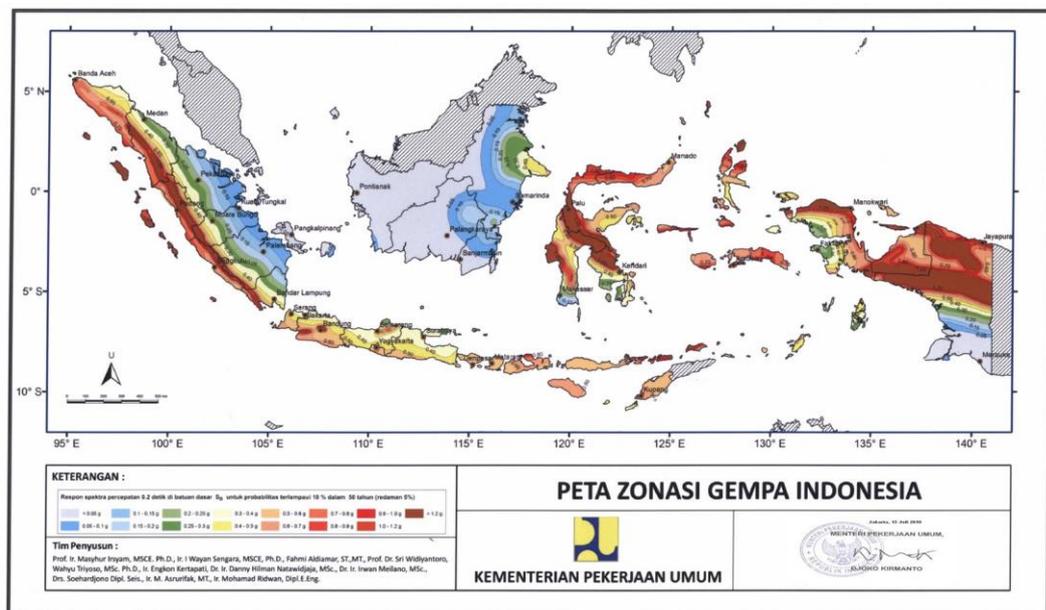
#### **D. Beban Gempa**

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 fondasi, adanya mekanisme redaman pada bangunan, dan tentu saja perilaku dan besar getaran itu sendiri. Besarnya getaran sulit ditentukan secara tepat karena sifatnya yang acak ( random ) sekalipun kadangkala dapat juga tertentu. Gerakan yang diakibatkan tersebut berperilaku tiga dimensi. Gerakan tanah

horizontal biasanya merupakan bentuk terpenting dalam tinjauan desain struktural.

Massa dan kekakuan struktur serta 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.

Secara umum dalam peraturan SNI-1726-2012 proses garis besarnya masih sama, namun zonasi gempanya suda lebih detail (halus) dibandingkan peraturan SNI-1726-2002. Tiap kota atau tempat di Indonesia akan memiliki grafik spectrum respons masing-masing, tidak hanya terbatas pada 6 Wilayah Gempa seperti sebelumnya.



Gambar 2.1 Peta Zonasi Gempa Indonesia

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

Prosedur analisis dan desain sismik yang digunakan dalam perencanaan struktur bangunan gedung dan komponennya harus seperti yang ditetapkan dalam pasal 7 SNI-1726-2012. Struktur bangunan gedung harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan gerak tanah desain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekuatan yang disyaratkan. Gerak tanah desain harus diasumsikan terjadi di sepanjang setiap arah horizontal struktur bangunan gedung. Kecukupan sistem struktur harus ditunjukkan melalui pembentukan model matematik dan pengevaluasian model tersebut untuk pengaruh gerak

tanah desain. Gaya gempa desain, dan distribusinya di sepanjang ketinggian struktur bangunan gedung, harus ditetapkan berdasarkan salah satu prosedur yang sesuai dan gaya dalam serta deformasi yang terkait pada komponen elemen struktur tersebut harus ditentukan. Prosedur alternatif yang disetujui tidak boleh dipakai untuk menentukan gaya gempa dan distribusinya kecuali bila gaya-gaya dalam dan deformasi yang terkait pada komponen/elemen strukturnya ditentukan menggunakan model yang konsisten dengan prosedur yang diadopsi.

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

$$V = C_s \cdot W \dots\dots\dots (2.1.2.)$$

Keterangan :

$C_s$  = koefisien respons seismik

$W$  = berat seismik efektif

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

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_c}\right)} \dots\dots\dots (2.1.3.)$$

Keterangan :

$S_{DS}$  = parameter percepatan spectrum respons desain dalam rentang perioda pendek

$R$  = faktor modifikasi respons

$I_c$  = faktor keutamaan gempa

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

$$F_x = C_{vx} \cdot V \dots\dots\dots (2.1.4.)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots\dots\dots (2.1.5.)$$

Keterangan :

$C_{vx}$  = faktor distribusi vertikal

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

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

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

$k$  = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

(untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih,  $k = 2$  untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik,  $k$  harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2)

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

$$V_x = \sum_{i=x}^n Fi \dots\dots\dots$$

(2.1.6.)

Keterangan :

$F_i$  adalah bagian dari geser dasar seismic ( $V$ ) yang timbul di tingkat  $i$ , dinyatakan dalam kilo newton (kN)

Geser tingkat desain gempa ( $V_x$ ) (kN) harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal system penahan gaya gempa di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relative elemen penahan vertikal dan diagfragma.

### **E. Beban Hujan**

Unsur air jarang diperhitungkan ketika membuat perhitungan beban hidup, faktor ini harus diperhatikan ketika sedang merancang. Beban hujan pada umumnya tidak sebesar beban salju, tetapi harus diingat bahwa adanya akumulasi air akan menghasilkan beban yang cukup besar. Beban yang besar terjadi pada atap datar karena salura yang mampat. Dengan menggenangnya air, atap akan mengalami lendutan sehingga air akan semakin mengumpul dan mengakibatkan lendutan yang semakin besar. Proses ini dinamai genangan (ponding) dan akhirnya dapat menyebabkan runtuhnya atap.

### **F. 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.

### **G. Kombinasi Pembebanan**

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, ada beberapa jenis beban yang bekerja pada setiap struktur. Hal penting dalam menentukan beban desain adalah pertanyaan apakah semua beban tersebut bekerja secara simultan atau tidak. Beban mati selalu ada pada struktur sedangkan yang berubah-ubah harganya adalah besar beban hidup dan kombinasi beban hidup.

Struktur dapat dirancang untuk memikul semua beban maksimum yang bekerja secara simultan, sehingga struktur akan memikul kombinasi beban berlebihan yang secara aktual mungkin terjadi selama umur struktur. Berkenaan dengan ini banyak peraturan atau rekomendasi mengenai reduksi beban desain apabila ada kombinasi beban tersebut.

Untuk beban pengguna pada gedung bertingkat banyak, sangat tidak mungkin semua lantai secara simultan memikul beban penggunaan maksimum. Oleh sebab itu ada reduksi yang diizinkan dalam beban desain

untuk merencanakan elemen struktur dengan memperhatikan efek kombinasi dan beban hidup dari banyak lantai.

### **2.2.2. Sistem Bekerjanya Beban**

Bekerjanya beban untuk bangunan bertingkat berlaku sistem gravitasi, yaitu elemen struktur yang berada di atas akan membebani elemen struktur di bawahnya, dengan demikian sistem bekerjanya beban untuk elemen-elemen struktur gedung bertingkat secara umum dapat dinyatakan sebagai berikut : beban pelat lantai didistribusikan terhadap balok, beban balok didistribusikan ke kolom dan beban kolom kemudian diteruskan ke tanah dasar melalui pondasi.

### **2.2.3. Faktor Keamanan**

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

- a). Faktor keamanan yang berkaitan dengan beban luar yang bekerja pada struktur, disebut faktor beban.
- b). Faktor keamanan yang berkaitan dengan kekuatan struktur (gaya dalam), disebut faktor reduksi kekuatan (  $\phi$  ).

#### **A. Faktor Beban**

Besar faktor beban yang diberikan untuk masing – masing beban yang bekerja pada suatu penampang struktur akan berbeda – beda tergantung dari jenis kombinasi beban yang bersangkutan. Menurut pasal 9.2 SNI – 2847 –

2013, agar struktur dan komponen struktur memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai terhadap bermacam – macam kombinasi beban, maka harus dipenuhi ketentuan dari kombinasi – kombinasi beban berfaktor sebagai berikut :

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

$$U = 1,4 D \dots\dots\dots (2.2.1.)$$

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

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2.2.2.)$$

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:

$$U = 1,2 D + 1,6 (A \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W) \dots\dots\dots (2.2.3.)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (A \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2.2.4.)$$

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

$$U = 0,9 D \pm 1,0 W \dots\dots\dots (2.2.5.)$$

Perlu dicatat bahwa untuk setiap kombinasi beban  $D$ ,  $L$ , dan  $W$ , kuat perlu  $U$  tidak boleh kurang dari Pers. (2.2.2.)

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

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E \dots\dots\dots (2.2.6.)$$

$$U = 0,9 D \pm 1,0 E \dots\dots\dots (2.2.7.)$$

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

Keterangan :

$U$  = Kombinasi beban terfaktor

$D$  = Beban mati ( *Dead Load* )

$L$  = Beban hidup ( *Live Load* )

$A$  = Beban hidup atap

$R$  = Beban air hujan

$W$  = Beban angin ( *Wind Load* )

$E$  = Beban gempa ( *Earth Quake Load* )

## B. Faktor Reduksi Kekuatan

Ketidakpastian kekuatan bahan terhadap pembebanan pada komponen struktur dianggap sebagai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ), yang nilainya ditentukan menurut pasal 11.3 **SNI – 2847 – 2002** sebagai berikut :

1. Reduksi kekuatan lentur, tanpa beban aksial : 0,90
2. Beban aksial, dan beban aksial dengan lentur:
  - (a) Reduksi beban aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur : 0,90
  - (b) Reduksi beban aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur :
- Komponen struktur dengan tulangan spiral : 0,75
- Komponen struktur lainnya : 0,65
3. Reduksi untuk geser dan torsi : 0,75
4. Tumpuan pada beton : 0,65
5. Daerah angkur pasca tarik : 0,85
6. Model strat dan pengikat, dan strat, pengikat, daerah pertemuan (nodal), dan daerah tumpuan dalam model tersebut : 0,75
7. Penampang lentur dalam komponen struktur pratarik dimana penanaman *strand* kurang dari panjang penyaluran :
  - (a) Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer : 0,75
  - (b) Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran  $\emptyset$  boleh ditingkatkan secara linier dari : 0,75-0,90

### 2.3. Desain Struktur

Setiap struktur merupakan perpaduan antara arsitektur dan teknik (rekayasa) sehingga memenuhi fungsi tertentu. Bentuk dan fungsi sangat erat kaitannya dan sistem struktur yang terbaik adalah salah satu yang paling dapat memenuhi kebutuhan calon pemakai disamping *serviceable*, menarik, dan menghemat biaya dari segi ekonomi. Walaupun hampir semua struktur dirancang untuk jangka waktu 50 tahun, struktur yang dibuat dari campuran beton yang baik tercatat mempunyai masa hidup yang lebih lama.

Sistem-sistem beton dibentuk dari berbagai elemen struktur beton yang bila dipadukan menghasilkan suatu system menyeluruh. Secara garis besar, komponen-komponen utama struktur dapat diklasifikasikan atas atap, balok, kolom, dan pondasi.

Proses disain 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.

### **2.3.1. Rangka Atap Struktur Baja**

Konstruksi atap adalah bagian paling atas dari suatu bangunan, permasalahan konstruksi atap tergantung pada luasnya ruang yang harus dilindungi, bentuk dan konstruksi yang dipilih, dan lapisan penutupnya. Struktur atap ada tiga bagian ,yaitu kuda-kuda, rangka atap, dan penutup atap. Pengaruh lingkungan luar terhadap atap menentukan pilihan bahan yang digunakan. Pengaruh luar umumnya suhu (sinar matahari), cuaca (air hujan dan kelembaban udara), serta keamanan terhadap kebakaran (petir dan bunga api), sehingga atap harus memenuhi kebutuhan terhadap keamanan dan kenyamanan. Setiap susunan rangka batang struktur atap haruslah merupakan satu kesatuan bentuk yang kokoh yang nantinya mampu memikul beban yang bekerja padanya tanpa mengalami perubahan.

#### **A. Keuntungan dan Kerugian Penggunaan Konstruksi Baja**

Dibandingkan dengan konstruksi lain seperti beton atau kayu pemakaian baja sebagai bahan konstruksi mempunyai keuntungan dan kerugian, yaitu:

Keuntungan :

- Bila dibandingkan dengan beton baja lebih ringan
- Baja lebih mudah untuk dibongkar atau dipindahkan
- Konstruksi baja dapat dipergunakan lagi
- Pemasangannya relative mudah
- Baja sudah mempunyai ukuran dan mutu tertentu dari pabrik

Kerugian :

- Bila konstruksinya terbakar maka kekuatannya berkurang
- Baja dapat terkena karat sehingga membutuhkan perawatan
- Memerlukan biaya yang cukup besar dalam pengangkutan

Dengan bantuan program SAP 2000 versi 14, gaya-gaya batang dari rangka dapat dihitung untuk kemudian menentukan dimensi struktur. Untuk persyaratan perencanaan kanstruksi baja adalah :

1. Perencanaan panjang *truss*.
2. Perencanaan reng

## **B. Perencanaan Dimensi Reng Baja**

### a) Pembebanan

Beban mati (DL):

- Berat penutup atap
- Berat sendiri reng

$$q_x = q \cdot \sin \alpha$$

$$q_y = q \cdot \cos \alpha$$

Beban hidup (LL):

- Beban terpusat P (orang dan alat)

$$P_x = P \cdot \sin \alpha$$

$$P_y = P \cdot \cos \alpha$$

Beban angin (WL):

- Kemiringan atap = ( $\alpha = 25^0$ )
- Jarak antar reng = ( $A1$ )
- Daerah jauh dari tepi laut, diambil minimum  $25 \text{ kg/m}^2$
- Koefisien angin tekan =  $0,2 (\alpha) - 0,4$
- Koefisien angin hisap =  $- 0,4$
- Angin tekan =  $(0,2 \times (\alpha) - 0,4) \times 25 \times A1$
- Angin hisap =  $- 0,4 \times 25 \times A1$

b) Perencanaan Struktur Reng Baja Menggunakan SAP 2000 versi 14

- Menggambar model reng
- Memilih dimensi penampang profil reng (*Cold formed*)
- Mendefinisikan kombinasi beban rencana
- Menghitung beban yang bekerja
- Memeriksa input data
- Analisis struktur

### C. Perencanaan Dimensi Rangka Baja

a.) Pembebanan:

Beban mati (DL):

- Berat penutup atap
- Berat sendiri reng
- Berat penutup plafon dan alat penggantung

Beban hidup (LL):

- Beban terpusat P (orang dan alat)

Beban angin (WL):

- Besar beban tekanan angin ( $\alpha = 25^0$ )
- Daerah jauh dari tepi laut, diambil minimum  $25 \text{ kg/m}^2$
- Jarak antar kuda – kuda = L1
- Koefisien angin tekan =  $0,2 (\alpha) - 0,4$
- Koefisien angin hisap =  $- 0,4$
- Angin tekan =  $(0,2 \times (\alpha) - 0,4) \times 25 \times A1 \times L1$

$$W_{tx} = W \times \sin \alpha$$

$$W_{ty} = W \times \cos \alpha$$

- Angin hisap =  $- 0,4 \times 25 \times A1 \times L1$

$$W_{tx} = W \times \sin \alpha$$

$$W_{ty} = W \times \cos \alpha$$

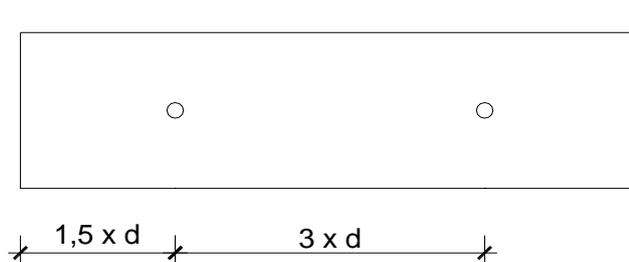
b) Perencanaan Struktur Rangka Baja Menggunakan SAP 2000 Versi 14

- Menggambar rangka baja dengan tiap ujung joint dari element dimodelkan jepit - jepit.
- Memilih dimensi penampang profil reng (*Cold formed*)
- Mendefinisikan kombinasi beban rencana
- Menghitung beban yang bekerja
- Memeriksa input data
- Analisis struktur

#### D. Perencanaan Sambungan

Sambungan sekrup adalah Jenis sambungan yang paling banyak digunakan pada rangka baja. parameter sambungan sekrup sebagai berikut:

- Minimal dipakai 2 buah sekrup
- Jarak minimum antar sekrup  
 $3 \times df$  ( $3 \times$  diameter sekrup)
- Jarak minimum sekrup menuju ujung profil  
 $1,5 \times df$  ( $1,5 \times$  diameter sekrup)



**Gambar 2.3.** Pembatasan antar sekrup

Sambungan sekrup yang dibebani geser dapat gagal dalam satu atau beberapa mode kegagalan. Mode tersebut adalah mode kegagalan geser sekrup, robekan tepi, miring dan tercabutnya sekrup, dan kegagalan tumpu pada material yang disambungkan.

Untuk menghitung kapasitas tumpu yang lebih rendah dari dua batang berdasarkan ketebalan dan kuat tariknyanya. Kuat tumpu pelat yang mengalami kontak dengan sekrup ditentukan dengan rumus:

- Tegangan dasar

$$\bar{\sigma} = \frac{\bar{\sigma}'}{1,5}$$

- Tegangan ijin sekrup

$$\bar{\sigma}_{gs} = 0,6 \times \bar{\sigma}$$

- Tegangan tarik sekrup

$$\bar{\sigma}_{tr} = 0,7 \times \bar{\sigma}$$

- Tegangan tumpu

$$\bar{\sigma}_{tu} = 1,5 \times \bar{\sigma} \quad \rightarrow S_1 \geq 2d$$

$$\bar{\sigma}_{tu} = 1,2 \times \bar{\sigma} \quad \rightarrow 1,5d \leq S_1 < 2d$$

- Menentukan kekuatan satu sekrup

$$N_{gs} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \sigma_{gs}$$

$$N_{t_p} = t \times d \times \bar{\sigma}_{tu}$$

- Jumlah sekrup yang dibutuhkan

$$n = \frac{P}{P^1}$$

### 2.3.2. Perencanaan Balok

Balok merupakan struktur penompang pelat yang bertujuan untuk menghindari lendutan yang besar pada pelat yang terbebani. Analisis dan

perencanaan balok yang dicetak menjadi satu kesatuan monolit dengan pelat lantai atau atap didasarkan pada anggapan bahwa antara pelat dengan balok terjadi interaksi saat menahan momen lentur positif yang bekerja pada balok. Interaksi antara pelat dan balok yang menjadi satu kesatuan pada penampangnya membentuk huruf T sehingga itulah dinamakan sebagai balok T. Plat akan berlaku sebagai lapis sayap (*flens*). Flens juga harus direncanakan dan diperhitungkan tersendiri terhadap balok pendukungnya.

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

- *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  $\varepsilon_y = f_y / E_c$ .

- *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*.

- *Penampang under-reinforced.*

Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja. Tulangan baja ini terus bertambah panjang dengan bertambahnya regangan di atas  $\epsilon_y$ . 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.

#### A. Kuat Lentur Balok

Beban yang bekerja pada struktur, baik yang berupa beban gravitasi (berarah vertikal) maupun beban-beban lain, seperti beban angin, atau juga beban karena susut dan beban karena perubahan temperatur, menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur. Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya atau bertambahnya retak lentur di sepanjang bentang balok.

Dalam pemeriksaan penampang balok harus memenuhi kriteria:

- $M_n > M_u$
- $\Phi M_n > M_u$ .....(2.3.1.)

Dimana,

$\Phi$  : faktor reduksi akibat kesalahan dalam pelaksanaan

$M_n$  : momen nominal dari penampang

$M_u$  : momen batas terfaktor (1,2 DL + 1,6 LL)

DL = beban mati, LL = beban hidup

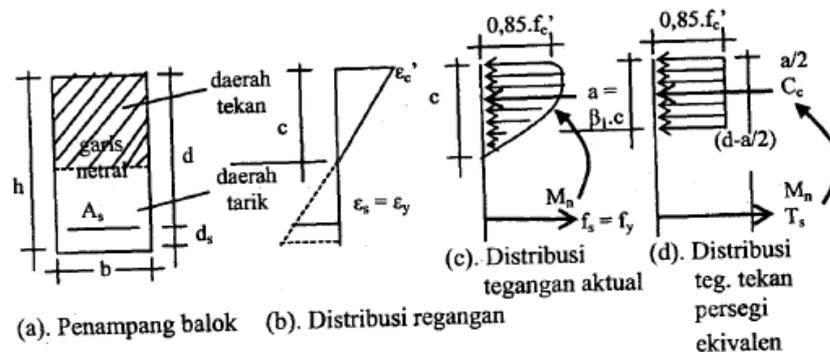
Asumsi-asumsi dalam perencanaan penampang balok:

- Regangan baja dan beton berbanding lurus terhadap garis netral.
- Regangan beton yang dipakai adalah regangan batas (*ultimate*)  $\varepsilon_c = 0,003$ .
- Regangan pada baja dan beton di sekitarnya sama sebelum terjadi retak pada beton atau leleh pada baja.
- Modulus elastisitas baja  $E_s = 2 \times 10^5$  MPa.
- Beton lemah terhadap tarik. Beton akan retak pada taraf pembebanan kecil, yaitu sekitar 10% dari kekuatan tekannya. Akibatnya bagian beton yang mengalami tarik pada penampang diabaikan dalam perhitungan analisis atau desain, juga tulangan tarik yang ada dianggap memikul gaya tarik tersebut.

a) Penampang Bertulangan 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 2.4.** Distribusi tegangan regangan penampang bertulangan tunggal

Keterangan notasi pada **Gambar 2.4.** :

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

$A_s$  : luas tulangan tarik, 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.

$d$  : 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.

$f_y$  : 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 10.2.7.3 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  $\beta_1 = 0,65$

$\varepsilon'_c$  : regangan tekan beton,

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

$\varepsilon_s$  : regangan tarik baja tulangan.

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

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

Pemakaian dari  $f_y$  memisalkan bahwa tulangan meleleh sebelum kehancuran beton. Penyamaan  $C = T$  menghasilkan:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \dots\dots\dots(2.3.2.)$$

$$Mn = A_s f_y (d - a/2)$$

.....(2.3.3.)

Dalam keadaan balanced:

Modulus elastisitas beton

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots(2.3.4.)$$

Garis netral kondisi balanced

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d \dots\dots\dots(2.3.5.)$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \text{ atau } \rho_b = \frac{A_s \cdot b}{bd} \dots\dots\dots(2.3.6.)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \dots\dots\dots(2.3.7.)$$

Dimana:  $c_b$  = garis netral kondisi *balanced*

$\rho_b$  = perbandingan tulangan kondisi regangan berimbang

Rasio penulangan  $\rho$  harus memenuhi syarat  $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$ , dimana batasan rasio tulangan maksimum adalah nilai terkecil dari persamaan-persamaan berikut:

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b$$

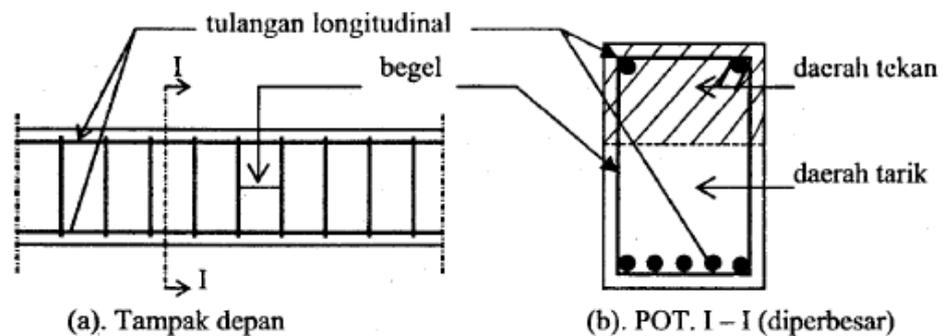
.....(2.3.8.)

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

.....(2.3.9.)

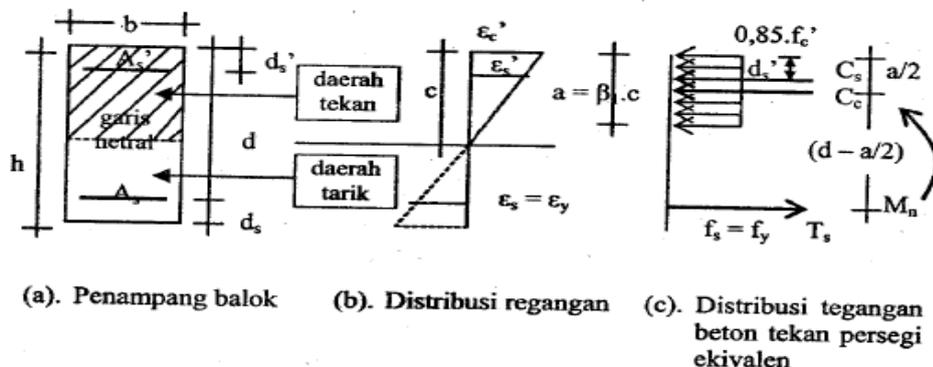
b.) Penampang Bertulangan Rangkap

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 2.5. Letak Tulangan pada Balok

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



Gambar 2.6. Distribusi tegangan - regangan penampang bertulangan rangkap

Keterangan notasi pada Gambar 2.6. :

- A : tinggi balok tegangan beton tekan persegi ekuivalen =  $\beta_1 \cdot c$  , mm.  
a =  $\beta_1 \cdot c$
- $A_s$  : 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 anantara titik berat tulangan tarik dan tepi serat beton tarik, mm.
- $d_s'$  : jarak anantara 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 =  $\epsilon_s \cdot E_s$  , dalam MPa.
- $f_s'$  : tegangan tekan baja tulangan =  $\epsilon_s' \cdot E_s$  , 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 10.2.7.3 SNI 2847 – 2013).

Penampang persegi dengan penulangan tarik dan tekan dinamakan juga penampang yang “bertulangan rangkap (ganda)”. Oleh karena kekuatan tekan beton adalah relatif tinggi, maka kebutuhan akan tulangan tekan untuk mendapat kekuatan yang cukup tidak begitu besar.

Gaya tarik  $T_1 = A_{s1}f_y = C_1$ . Akan tetapi,  $A_{s1} = A_s - A_s'$  karena syarat keseimbangan mengharuskan  $A_{s2}$  yang tertarik harus diimbangi oleh  $A_s$  pada sisi yang tertekan. Dengan demikian momen tahanan nominalnya adalah:

$$Mn_1 = A_{s1}f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \text{ atau } Mn_1 = (A_s - A_s')f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots(2.3.10.)$$

$$\text{Dengan: } a = \frac{(A_s - A_s')f_y}{0,85 f'_c b} \dots\dots\dots(2.3.11.)$$

$$A_s' = A_{s2} = A_s - A_{s2} \dots\dots\dots(2.3.12.)$$

$$T_2 = C_2 = A_{s2}f_y \dots\dots\dots(2.3.13.)$$

Dimana:  $A_s'$  = luas tulangan tekan

$C_2$  = tambahan gaya tekan akibat tulangan tekan

$T_2$  = gaya tarik dalam baja untuk mengimbangi  $C_2$

Dengan mengambil momen terhadap tulangan tarik kita peroleh:

$$Mn_2 = A_{s2} f_y (d - d') \dots \dots \dots (2.3.14.)$$

Dengan menjumlahkan momen tahanan nominalnya, diperoleh:

$$Mn = Mn_1 + Mn_2 = (A_s - A_s') f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d') \dots \dots \dots (2.3.15.)$$

Kekuatan momen rencana  $\phi Mn$  harus lebih besar atau sama dengan momen luar rencana  $Mu$ , jadi:

$$Mu = \phi \left[ (A_s - A_s') f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y d (d - d') \right] \dots \dots \dots (2.3.16.)$$

Tulangan tekan leleh jika:

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \beta_1 f'_c d'}{f_y d} \times \frac{600}{600 - f_y} \dots \dots \dots (2.3.17.)$$

Tegangan tulangan tekan  $f'_s$  dapat dihitung sebagai:

$$f'_s = 600 \left[ 1 - \frac{0,85 \beta_1 f'_c}{(\rho - \rho') f_y} \times \frac{d'}{d} \right] \dots \dots \dots (2.3.18.)$$

$$a = \frac{A_s f_y - A_s' f'_s}{0,85 f'_c b} \dots \dots \dots (2.3.19.)$$

Kekuatan momen nominal pada persamaan 2.3.16. menjadi:

$$Mu = \phi \left[ (A_s f_y - A_s' f'_s) \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f'_s (d - d') \right] \dots\dots\dots$$

(2.3.20.)

## B. 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.

Penulangan geser pada dasarnya mempunyai empat fungsi utama, yaitu:

1. Memikul sebagian gaya geser luar rencana  $V_u$
2. Membatasi bertambahnya retak diagonal
3. Memegang dan mengikat tulangan memanjang pada posisinya sehingga tulangan memanjang ini mempunyai kapasitas yang baik untuk memikul lentur
4. Memberikan semacam ikatan pada daerah beton yang tertekan apabila sengkang ini berupa sengkang tertutup.

Penulangan geser balok didasarkan pada persamaan sebagai berikut ini.

$$\phi V_n \geq V_u \dots\dots\dots(2.3.21.)$$

Dengan  $V_u$  adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan  $V_n$  adalah kuat geser nominal yang dihitung dari persamaan sebagai berikut ini.

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots(2.3.22.)$$

Dengan  $V_c$  adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton dan  $V_s$  adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser.

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d \dots\dots\dots(2.3.23.)$$

Jika  $\alpha = 90^\circ$  :

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \dots\dots\dots(2.3.24.)$$

Gaya geser miring:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} (\sin \alpha + \cos \alpha) \dots\dots\dots(2.3.25.)$$

dengan:  $b_w$  = lebar balok

$d$  = tinggi efektif balok

$A_v$  = luas tulangan geser yang berada dalam rentang jarak  $s$

$s$  = jarak antar sengkang

bila  $\phi V_c > V_n > 0,5\phi V_c$

$$\text{tulangan minimum, } A_v = \frac{b_w \cdot S}{3f_y} \dots\dots\dots(2.3.26.)$$

Jarak sengkang,  $S$

$$S \text{ maksimum} = \frac{d}{2} \leq 600mm$$

$$\text{Jika } V_s > \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$\text{Maka: } S \leq \frac{d}{4} \leq 600mm$$

Menurut pasal 11.4.5.1. dan 11.4.5.2. **SNI 2847-2013**, spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur tidak boleh melebihi  $d/2$  pada komponen struktur non-prategang dan  $0,75 h$  pada komponen struktur prategang. Sengkang miring dan tulangan longitudinal yang dibengkokkan harus dipasang dengan spasi sedemikian hingga setiap garis 45 derajat, meneruskan arah reaksi dari tengah tinggi komponen struktur  $d/2$  ke tulangan tarik longitudinal, harus disilang oleh paling sedikit satu garis tulangan geser. Bila  $V_s$  melebihi  $0,33\sqrt{f'_c} b_w d$ , maka spasi maksimum yang diberikan harus dikurangi dengan setengahnya.

### 2.3.3. Perencanaan Pelat Lantai

Pelat lantai merupakan bidang datar arah horizontal yang biasanya ditumpu oleh gelagar atau balok beton bertulang. Beban-beban yang bekerja pada pelat akan diteruskan oleh balok kepada kolom penyangga, selain beban yang bekerja pada balok itu sendiri.

Petak pelat dibatasi oleh balok anak pada kedua sisi panjang dan oleh balok induk pada kedua sisi pendek. Menurut Istimawan Dipohusodo (1999),

berdasarkan kemampuan untuk menyalurkan kekuatan terhadap beban maka struktur pelat dibedakan atas dua jenis, adalah sebagai berikut ini.

### A. Pelat Satu Arah

Pelat satu arah (*one way slab*), adalah struktur pelat yang didukung pada dua tepi yang berhadapan sedemikian rupa sehingga lenturan yang timbul hanya dalam satu arah saja, yaitu pada arah tegak lurus terhadap arah dukungan tepi (tumpuan pada arah bentang pendeknya). Respon kekuatan pada struktur pelat satu arah pada dua dimensi sehingga berperilaku seperti media dua dimensi, seperti balok. Perbandingan sisi pendeknya yang saling tegak lurus lebih besar dari dua dan perhitungan ditinjau setiap satu meter lebar.

### B. Pelat Dua Arah

Pelat dua arah (*two way slab*), adalah struktur pelat yang didukung sepanjang keempat sisinya yang dibatasi balok anak pada kedua sisi panjang dan balok induk pada kedua sisi pendeknya. Respon kekuatan pada tiga dimensinya dan perbandingan sisi panjang terhadap sisi pendeknya kurang atau sama dengan dua. Perhitungan ditinjau pada luas penuh dari pelat yang ditinjau.

Direncanakan menggunakan pelat dua arah langkah yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut ini:

1. Menentukan syarat-syarat batas dan bentang ( $l_x$  dan  $l_y$ ).
2. Menentukan tebal minimum pelat yang tercantum dalam **SNI-2847-2013** adalah sebagai berikut ini.
  - a. Untuk  $\alpha_m \leq 0,2$  ketebalan pelat minimum adalah sebagai berikut ini:

- Pelat tanpa penebalan : 125 mm

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

$$h = \frac{\lambda_n \left[ 0,8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36 + 5 \cdot \beta \cdot (\alpha_m - 0,2)} \dots\dots\dots(2.3.27.)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm.

- c. Untuk  $\alpha_m \leq 0,2$  ketebalan pelat minimum harus memenuhi persamaan sebagai berikut ini:

$$h = \frac{\lambda_n \left[ 0,8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36 + 5 \cdot \beta \cdot (\alpha_m - 0,2)} \dots\dots\dots(2.3.28.)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

Dengan :

$h$  = tebal pelat minimum (cm)

$f_y$  = tulangan leleh baja tulangan (Mpa)

$\alpha$  = rasio kekakuan lentur penmpang balok terhadap kuat lentur pelat dengan lebar yang dibatasi 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

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

d. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan  $\alpha$  tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan persamaan harus dinaikan paling tidak 10% pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

$$e. \quad \alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cp} \cdot I_p} \dots\dots\dots(2.3.29.)$$

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

3. Menghitung beban-beban yang dipikul pelat dengan persamaan sebagai berikut ini:

$$W_u = 1,2W_D + 1,6W_L \dots\dots\dots(2.3.30.)$$

Dengan :  $W_u$  = beban ultimit

$W_D$  = beban mati

$W_L$  = beban hidup

4. Menghitung

$$k = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$

.....(2.3.31.)

Dengan :  $k$  = koefisien tahanan

$M$  = momen yang ditinjau

$B$  = lebar permeter pelat

$d$  = tinggi efektif pelat

5. Menghitung tulangan dengan syarat  $\rho_{min} < \rho \leq \rho_{max}$  apabila  $\rho > \rho_{max}$  maka perlu menentukan kembali tebal pelat kemudian memilih tulangan dengan

$$\rho = \frac{A_s}{A_d} \dots\dots\dots(2.3.32.)$$

Dimana :  $A_s$  = luas tulangan

$A_d$  = rasio tulangan

#### 2.3.4. Perencanaan Kolom

Kolom adalah komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil sama dengan tiga atau lebih. Kolom digunakan terutama untuk mendukung beban aksial tekan. Kegagalan kolom akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen struktur lain yang berhubungan dengannya, atau bahkan merupakan batas runtuh total keseluruhan suatu struktur bangunan. Perencanaan suatu kolom, didasarkan pada kekuatan dan kekakuan penampang lintangnya terhadap aksi beban aksial dan momen lentur.

##### A. Kekuatan Kolom Pendek Dengan Beban Sentris

Pada Gambar 2.7. dijelaskan mengenai pembebanan pada beton dan baja pada saat beban kolom meningkat. Pada awalnya, beton maupun baja berperilaku elastis. Pada saat regangan mencapai sekitar 0,003, beton mencapai kekuatan

maksimum  $f'_c$ . secara teoritis, beban maksimum yang dapat dipikul oleh kolom adalah beban yang menyebabkan terjadinya regangan  $f'_c$  pada beton. Penambahan beban lebih lanjut bisa saja terjadi apabila *strain hardening* pada baja terjadi di sekitar 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 disini adalah  $0,85 f'_c$ , bukan  $f'_c$ . hal ini disebabkan oleh kekuatan maksimum yang dapat dipertahankan pada struktur aktual mendekati harga  $0,85 f'_c$ . Dengan demikian, kapasitas beban sentries maksimum adalah  $P_o$  yang dapat dinyatakan sebagai:

$$P_o = 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \dots\dots\dots(2.3.33.)$$

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 factor-faktor ini, kapasitas beban aksial nominal pada kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada:

$$P_n(maks) = 0,8 [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y] \dots\dots\dots(2.3.34.)$$

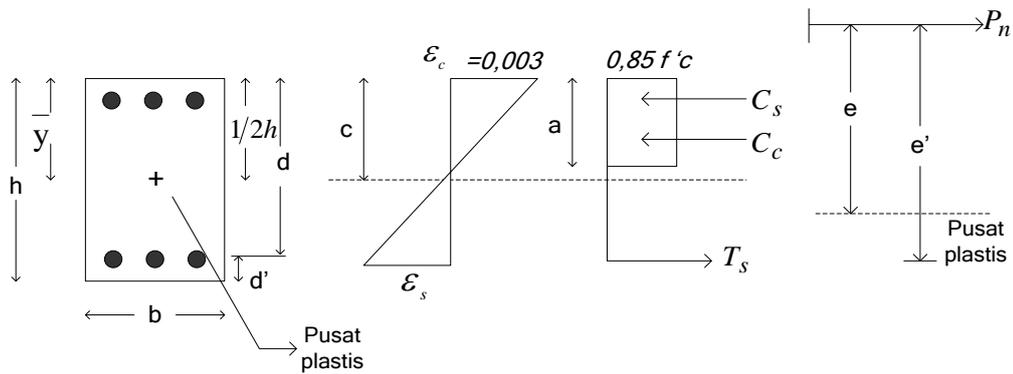
Untuk kolom bersengkang, dan

$$P_n(maks) = 0,85 [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y] \dots\dots\dots(2.3.35.)$$

Untuk kolom berspiral.

Beban rencana :  $P_u \leq \phi P_n$ .

**B. Kekuatan Kolom Dengan Beban Eksentris: Aksial dan Lentur**



**Gambar 2.7.** Tegangan dan gaya-gaya pada kolom.

Regangan:

$$\epsilon_s = 0,003 \frac{d - c}{c}$$

$$\epsilon_s' = 0,003 \frac{c - d'}{c}$$

Tegangan:

$$f_s = E_s \cdot \epsilon_s \leq f_y$$

$$f_s' = E_s \cdot \epsilon_s' \leq f_y$$

Gaya dalam:

$$C_c = 0,85 f' c \cdot b \cdot a$$

$$C_s = A'_s \cdot f'_s$$

$$T_s = A_s \cdot f_s$$

Eksentrisitas:

$$e = \frac{M_u}{P_u} \dots\dots\dots(2.3.36.)$$

Gaya tahan aksial  $P_n$  dalam keadaan runtuh:

$$P_n = C_c + C_s - T_s$$

$$P_n = 0,85 f'_c . b . a + A'_s . f'_s - A_s . f_s \dots\dots\dots(2.3.37.)$$

Momen tahanan nominal  $M_n = P_n . e$

$$M_n = P_n . e = C_c \left( \bar{y} - \frac{a}{2} \right) + C_s (\bar{y} - d') + T_s (d - \bar{y}) \dots\dots\dots(2.3.38.)$$

Dimana:  $c$  = jarak sumbu netral

$\bar{y}$  = jarak pusat plastis

$e$  = 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

### C. Ragam Kegagalan Dalam Material Pada Kolom

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

1. Keruntuhan tarik, yang diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik.
2. Keruntuhan tekan, yang diawali dengan hancurnya beton yang tertekan.

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

a). Keruntuhan *balanced* pada kolom :

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d \dots\dots\dots(2.3.39.)$$

$$a_b = \beta_1 \cdot C_b = \frac{600}{600 + f_y} \beta_1 \cdot d \dots\dots\dots(2.3.40.)$$

$$P_{nb} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a_b + A'_s \cdot f'_y - A_s \cdot f_y \dots\dots\dots(2.3.41.)$$

$$M_{nb} = P_{nb} \cdot e_b = 0,85 f'_c b \cdot a_b \cdot \left( \bar{y} - \frac{a_b}{2} \right) + A'_s \cdot f'_s (\bar{y} - d') + A_s \cdot f_y (d - \bar{y}) \dots(2.3.42.)$$

Dimana  $f'_s = 0,003$  Es  $\frac{C_b - d'}{C_b} \leq f_y \dots\dots\dots(2.3.43.)$

b). Keruntuhan Tarik pada Kolom Segiempat :

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

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \dots\dots\dots(2.3.44.)$$

$$M_n = P_n \cdot e = 0,85 f'_c b a \left( \bar{y} - \frac{a}{2} \right) + A'_s \cdot f_y (\bar{y} - d') + A_s \cdot f_y (d - \bar{y}) \dots\dots\dots(2.3.45.)$$

atau

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

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

$$P_n = 0,85 f'_c b \left[ \left( \frac{h}{2} - e \right) + \sqrt{\left( \frac{h}{2} - e \right)^2 + \frac{2 A_s f_y (d - d')}{0,85 f'_c b}} \right] \dots\dots\dots(2.3.46.)$$

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

$$P_n = 0,85 f'_c b d \left[ \frac{h - 2e}{2d} + \sqrt{\left( \frac{h - 2e}{2d} \right)^2 + 2m\rho \left( 1 - \frac{d'}{d} \right)} \right] \dots\dots\dots(2.3.47.)$$

c). Keruntuhan Tekan pada Kolom Segiempat :

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

**D. Kuat Geser Kolom**

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.

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{H} \dots\dots\dots(2.3.48.)$$

Dengan:

$V_e$  = gaya geser rencana kolom

$M_{pr1}$  = kuat momen lentur 1

$M_{pr2}$  = kuat momen lentur 2

$H$  = tinggi kolom

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

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

$$\Phi.V_n \geq V_n + V_c \dots\dots\dots(2.3.49.)$$

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

$$V_c = \left(1 + \frac{Nu}{14.A_g}\right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6}\right) b_w \cdot d \dots\dots\dots(2.3.50.)$$

### 2.3.5. Perencanaan Fondasi

Istilah fondasi digunakan dalam teknik sipil untuk mendefinisikan suatu konstruksi bangunan yang berfungsi sebagai penopang bangunan dan meneruskan beban bangunan di atasnya (*upper structure*) ke lapisan tanah yang cukup kuat daya dukungnya. Untuk itu, pondasi bangunan harus diperhitungkan agar dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban yang bekerja, gaya-gaya luar seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain. Disamping itu, tidak boleh terjadi penurunan melebihi batas yang diijinkan. (Gunawan, 1993).

Sedangkan menurut Bowles (1983) pondasi dapat didefinisikan sebagai bagian bangunan bawah tanah dan atau batuan yang berdekatan yang akan dipengaruhi oleh kedua elemen bagian bangunan bawah tanah dan beban-bebannya.

Berdasarkan struktur beton bertulang, pondasi berfungsi untuk :

- a. Mendistribusikan dan memindahkan beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan di atasnya ke lapisan tanah dasar yang mendukung struktur tersebut,
- b. Mengatasi penurunan yang berlebihan dan penurunan tidak sama pada struktur,

- c. Memberi kestabilan pada struktur dalam memikul beban horizontal akibat angin, gempa dan lain-lain.

### **A. Jenis Fondasi**

Berdasarkan letak kedalaman tanah kuat yang digunakan sebagai pendukung fondasi, maka fondasi digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu :

1. Pondasi Dangkal : Kedalaman masuknya ke tanah relatif dangkal, hanya beberapa meter masuknya ke dalam tanah. Salah satu tipe yang sering digunakan ialah pondasi menerus yang biasa pada rumah-rumah, dibuat dari beton atau pasangan batu, meneruskan beban dari dinding dan kolom bangunan ke tanah keras. Di dalamnya terdiri dari :
  - Fondasi Setempat,
  - Fondasi Penerus,
  - Fondasi Pelat, dan
  - Fondasi Konstruksi Sarang Laba-laba.
2. Fondasi Dalam : Digunakan untuk menyalurkan beban bangunan melewati lapisan tanah yang lemah di bagian atas ke lapisan bawah yang lebih keras. Contohnya antara lain tiang pancang, tiang bor, kaison, dan semacamnya. Penyebutannya dapat berbeda-beda tergantung disiplin ilmu atau pasarannya, contohnya fondasi tiang pancang.
3. Kombinasi Fondasi Pelat dan Tiang Pancang.

Dalam perencanaan ini digunakan fondasi dangkal, yaitu digunakan fondasi telapak. Secara garis besar, fondasi telapak dapat dibedakan menjadi 5 macam yaitu :

a. Fondasi Dinding

Fondasi dinding ini sering disebut fondasi lajur.

b. Fondasi Telapak Tunggal

Fondasi telapak tunggal sering disebut dengan fondasi kolom tunggal, artinya setiap kolom mempunyai fondasi sendiri – sendiri. Fondasi telapak tunggal dapat berbentuk bujur sangkar, lingkaran dan persegi panjang.

c. Fondasi Gabungan

Jika letak kolom relatif dekat, fondasinya digabung menjadi satu. Bentuk fondasi berupa persegi panjang atau trapesium.

d. Fondasi Telapak Menerus

Jika letak kolom berdekatan dan daya dukung tanah relatif kecil, lebih baik buat fondasi telapak menerus. Agar kedudukan kolom lebih kokoh dan kuat, maka antara kolom satu dan lainnya dijepit oleh balok sloof. Balok sloof dicor bersamaan dengan fondasi.

e. Fondasi Mat

Fondasi mat sering disebut fondasi pelat, dipasang dibawah seluruh bangunan, karena daya dukung tanah yang sangat kecil.

## **B. 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 mengenai 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 :

### 1. Menentukan Ukuran Fondasi

Ukuran fondasi ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$\sigma = \frac{P_{u,k}}{B.L} + \frac{M_{u,x}}{\frac{1}{6}.B.L^2} + \frac{M_{u,y}}{\frac{1}{6}.B.L^2} + q \leq \bar{\sigma}_t \dots\dots\dots(2.3.51.)$$

$$q = (h_f \cdot \gamma_c) + (h_t \cdot \gamma_t) \dots\dots\dots(2.3.52.)$$

Dengan :

$\sigma$  : Tegangan yang terjadi pada dasar fondasi, kPa atau kN/m<sup>2</sup>

$\bar{\sigma}_t$  : Daya dukung tanah, kPa atau kN/m<sup>2</sup>

$P_{u,k}$  : 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, kN/m<sup>2</sup>

$h_f$  : 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, kN/m<sup>2</sup>

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

$$\sigma_{\max} = \frac{P_u}{B.L} + \frac{M_{u,x}}{\frac{1}{6} \cdot B.L^2} + \frac{M_{u,y}}{\frac{1}{6} \cdot B.L^2} + q \dots\dots\dots(2.3.53.)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{P_u}{B.L} - \frac{M_{u,x}}{\frac{1}{6} \cdot B.L^2} - \frac{M_{u,y}}{\frac{1}{6} \cdot B.L^2} + q \dots\dots\dots(2.3.54.)$$

2. Mengontrol Kuat Geser 1 Arah

Kuat geser 1 arah dikontrol dengan cara sebagai berikut :

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

$$V_u = a.B \cdot \left( \frac{\sigma_{\max} + \sigma_a}{2} \right) \dots\dots\dots(2.3.55.)$$

$$\sigma_a = \sigma_{\min} + \frac{(L-a)(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})}{L} \dots\dots\dots(2.3.56.)$$

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

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{6} \cdot B.d \dots\dots\dots(2.3.57.)$$

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

c. Dikontrol :  $V_u$  harus  $\leq \phi.V_c$  dengan  $\phi = 0,75$  .....(2.3.58.)

3. Mengontrol Kuat Geser 2 Arah

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

a. Dihitung gaya geser pons terfaktor ( $V_u$ )

$$V_u = \{B.L - (b + d)(h + d)\} \left( \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \right) \dots\dots\dots(2.3.59.)$$

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

$$V_c = \left( 1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \cdot \frac{\sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d}{6} \dots\dots\dots(2.3.60.)$$

$$V_c = \left( 2 + \frac{\sigma_s \cdot d}{b_o} \right) \cdot \frac{\sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d}{12} \dots\dots\dots(2.3.61.)$$

$$V_c = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d \dots\dots\dots(2.3.62.)$$

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.

$$= 2 \cdot \{(b + d) + (h + d)\} , \text{ dalam mm}$$

$\alpha_s$  : 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

c. Dikontrol :  $V_u$  harus  $\leq \phi V_c$  dengan  $\phi = 0,75$  .....(2.3.63.)

#### 4. 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 :

a) Hitungan tulangan sejajar sisi panjang, dilaksanakan dengan urutan :

- Dihitung  $\sigma_x = \sigma_{\min} + \frac{(L-x)(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})}{L}$  .....(2.3.64.)

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

$$M_u = \frac{1}{2} \cdot \sigma_x \cdot x^2 + \frac{1}{3} \cdot (\sigma_{\max} - \sigma_x) \cdot x^2 \text{ .....(2.3.65.)}$$

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

$$K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \text{ .....(2.3.66.)}$$

Dengan,  $b = 1000 \text{ mm}$ ,  $\phi = 0,80$

$$K_{\max} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1) \cdot f'_c}{(600 + f_y)^2} \dots\dots\dots(2.3.67.)$$

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

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

$$a = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \cdot d \dots\dots\dots(2.3.68.)$$

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

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

$$\text{Jika } f'_c \leq 31,36 \text{ MPa} \text{ maka } A_{s,u} \geq \frac{1,4 \cdot b \cdot d}{f_y} \dots\dots\dots(2.3.69.)$$

( Pasal 10.5.1)

$$\text{Jika } f'_c \geq 31,36 \text{ MPa} \text{ maka } A_{s,u} \geq \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d}{4 \cdot f_y} \dots\dots\dots(2.3.70.)$$

( Pasal 12.5.1)

- Dihitung jarak tulangan ( s )

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,u}} \text{ dengan } S = 1000 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.3.71.)$$

$$\text{Pasal 10.5.4: } s \leq 3 \cdot h \text{ dan } s \leq 450 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.3.72.)$$

- Digunakan tulangan  $D_x - s$ ,

$$\text{Luasnya } A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S \dots\dots\dots(2.3.73.)$$

b) Hitungan tulangan sejajar sisi pendek, dilaksanakan dengan urutan :

- Diambil nilai tegangan tanah maksimal ( $\sigma_{\max}$ )
- Dihitung momen pada fondasi ( $M_u$ )

$$M_u = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{\max} \cdot x^2 \dots\dots\dots(2.3.74.)$$

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

Untuk jalur pusat selebar B :

- Dihitung :  $A_{s,pusat} = \frac{2 \cdot B \cdot A_{s,u}}{L + B} \dots\dots\dots(2.3.75.)$

- Dihitung jarak tulangan ( s ) :

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,pusat}} \text{ dengan } S = 1000 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.3.76.)$$

Pasal 10.5.4:  $s \leq 3 \cdot h$  dan  $s \leq 450 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.3.77.)$

- Digunakan tulangan  $D_x - s$

$$\text{Luasnya } A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S \dots\dots\dots(2.3.78.)$$

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

- Dihitung  $A_{s,tepi} = A_{s,u} - A_{s,pusat} \dots\dots\dots(2.3.79.)$

- Dihitung jarak tulangan ( s' )

$$s' = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s, pusat}} \text{ dengan } S = 1000 \text{ mm} \dots \dots \dots (2.3.80.)$$

- Digunakan tulangan  $D_x - s'$

$$\text{Luasnya } A_s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s'} \dots \dots \dots (2.3.81.)$$

#### 5. Mengontrol Kuat Dukung Fondasi

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

$$\overline{P}_u = \phi \cdot 0,85 \cdot f'c \cdot A_1, \text{ dengan } \phi = 0,7 \dots \dots \dots (2.3.82.)$$

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>