

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Pembebanan**

Pembebanan merupakan faktor penting dalam merancang struktur bangunan. Untuk itu, dalam merancang struktur perlu mengidentifikasi beban-beban yang bekerja pada sistem struktur. Beban-beban yang bekerja pada suatu struktur ditimbulkan secara langsung oleh gaya-gaya alamiah dan buatan manusia (Schueller, 2001). Secara umum, struktur bangunan dikatakan aman dan stabil apabila mampu menahan beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) dan beban gempa yang bekerja pada bangunan tersebut.

##### **a. Beban Mati**

Beban mati merupakan berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, kladding gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran (SNI 1727:2013 pasal 3.1)

##### **b. Beban Hidup**

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain. (SNI 1727:2013 pasal 4.1). Beban hidup selalu berubah-ubah dan sulit diperkirakan. Perubahan tersebut terjadi sepanjang waktu, baik untuk jangka pendek maupun jangka panjang (Schueler, 2010). Beban hidup atap merupakan beban yang diakibatkan pelaksanaan pemeliharaan oleh pekerja, peralatan, dan material. Selain itu

juga beban selama masa layan struktur yang diakibatkan oleh benda bergerak, seperti tanaman atau benda dekorasi kecil yang tidak berhubungan dengan penghunian (SNI 1727:2013 pasal 4.1)

c. Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa tersebut.

### 2.1.1 Kuat Perlu

Perancangan struktur gedung mempertimbangkan beban hidup, beban mati, dan beban gempa. Dalam perancangan, ditentukan kuat perlu sebagai kombinasi-kombinasi beban tersebut. Kuat perlu yang sesuai dengan SNI 1726:2012 subpasal 4.2.2 dan 7.4.2 adalah sebagai berikut:

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

$$2. \quad U = 1,2D + 1,6L \quad (2-2)$$

$$3. \quad U = (1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L \pm \rho E_x \pm 0,3\rho E_y \quad (2-3)$$

$$4. \quad U = (1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L \pm 0,3\rho E_x \pm \rho E_y \quad (2-4)$$

$$5. \quad U = (0,9 - 0,2S_{DS})D + 1,0L \pm \rho E_x \pm 0,3\rho E_y \quad (2-5)$$

$$6. \quad U = (0,9 - 0,2S_{DS})D + 1,0L \pm 0,3\rho E_x \pm \rho E_y \quad (2-6)$$

Keterangan:

$U$  = kuat perlu

$D$  = beban mati

$L$  = beban hidup

$E_x$  = beban gempa arah x

$E_y$  = beban gempa arah y

$\rho$  = faktor redundansi

### 2.1.2 Kuat Desain

SNI 2847:2013 pasal 9.3.1 menyatakan, kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi dari standar ini, yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ).

Tabel 2.1 Faktor Reduksi ( $\phi$ ) Kekuatan Desain

No	Keterangan	Faktor Reduksi ( $\phi$ )
1	Penampang terkendali tarik	0,9
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	0,65
5	Daerah angkur pasca tarik	0,85
6	Model strat pengikat, strat, pengikat, daerah pertemuan ( <i>nodal</i> ), dan daerah tumpuan dalam model tersebut	0,75
7	Penampang lentur dalam komponen struktur pra tarik 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 $\phi$ boleh ditingkatkan secara linier dari	0,75 sampai 0,9

(Sumber: SNI 2847:2013 subpasal 9.3.2.1 – 9.3.2.7)

### 2.2 Kelas Situs

Prosedur klasifikasi situs dijelaskan dalam SNI 1726:2012 pasal 5.1. Prosedur klasifikasi bertujuan untuk memberikan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs. Berikut ini merupakan tabel penentuan klasifikasi situs (SNI 1726:2012 pasal 5.1, halaman 17)

Tabel 2.2 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$V_s$ (m/s)	$N$ atau $N_{ch}$	$S_u$
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 – 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 – 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 – 350	15 – 50	50 – 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir, $S_u < 25$ Kpa		
SF (Tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan $PI > 75$ ) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ KPa		

(Sumber: Tabel 3 SNI 1726:2012 pasal 5.3, halaman 17-18)

Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan tabel 3 dan diperhitungkan terhadap tanah lapisan 30 m paling atas (kedalaman 30 meter). Profil tanah yang mengandung beberapa lapisan tanah dan/atau batuan yang berbeda perlu dibagi menjadi beberapa lapisan. Pembagian tersebut dimulai dengan lapisan tanah paling atas dan diikuti lapisan dibawahnya (SNI 1726:2012 pasal 5.4, halaman 19).

Tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata ( $\bar{N}$ ) dan tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah non-koheusif ( $N_{ch}$ ), dihitung sebagai berikut:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (2-7)$$

$N_i$  dan  $d_i$  dalam persamaan (2-7) berlaku untuk tanah non kohesif, tanah kohesif, dan lapisan batuan.

$$\bar{N}_{ch} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^m \frac{d_i}{N_i}} \quad (2-8)$$

$N_i$  dan  $d_i$  dalam persamaan (2-8) berlaku untuk tanah non kohesif saja, dan

$$\sum_{i=1}^m d_i = d_s \sum_{j=1}^m d_j = d_s \quad (2-9)$$

Keterangan:

$d_s$  = ketebalan total lapisan tanah non kohesif 30 paling atas

$N_i$  = tanah penetrasi standar 60 persen energi ( $N_{60}$ ) yang terukur langsung di lapangan tanpa koreksi dengan nilai  $\leq 305$  pukulan/m.

### **2.3 Perencanaan Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012**

Kawasan Indonesia masuk dalam jalur rangkaian gunung api aktif di dunia (*pacific ring of fire*). Hal demikian menyebabkan tingkat kerawanan gempa yang tinggi terjadi di wilayah Indonesia (Imran dan Hendrik, 2009). Fenomena gempa tersebut tentu memberikan dampak terhadap kondisi infrastruktur, terutama kerusakan-kerusakan bangunan gedung.

Menurut Imran dan Hendrik (2009), prinsip-prinsip dasar yang perlu diperhatikan dalam perencanaan, perancangan, dan pelaksanaan struktur bangunan beton bertulang tahan gempa adalah:

- a. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan tingkat kerawanan/resiko terhadap gempa.
- b. Aspek kontinuitas dan integritas struktur bangunan perlu diperhatikan.
- c. Konsistensi sistem struktur yang diasumsikan dalam desain dengan sistem struktur yang dilaksanakan harus terjaga
- d. Material beton dan baja tulangan yang digunakan harus memenuhi persyaratan material konstruksi untuk struktur bangunan tahan gempa.
- e. Unsur-unsur arsitektural yang memiliki massa yang besar harus terikat kuat pada sistem portal utama dan harus diperhitungkan pengaruhnya terhadap sistem struktur.
- f. Metode pelaksanaan, sistem *equality control* dan *quality assurance* dalam tahapan konstruksi harus dilaksanakan dengan baik dan harus sesuai dengan kaidah yang berlaku.

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah besarnya gaya gempa dipengaruhi oleh karakteristik gempa, karakteristik tanah, dan karakteristik struktur bangunan.

### **2.3.1 Penentuan $S_{DS}$ dan $S_{D1}$**

Nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  ditentukan melalui web desain spektra Indonesia

[http://puskim.pu.go.id//Aplikasi/desain spektra indonesia 2011/](http://puskim.pu.go.id//Aplikasi/desain Spektra Indonesia 2011/)

### **2.3.2 Kategori Resiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa**

Setiap jenis pemanfaatan bangunan gedung dan non gedung memiliki kategori resiko tertentu. Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung terhadap beban gempa adalah sebagai berikut:

Tabel 2.3 Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki resiko 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, peternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko, 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
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki resiko 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> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan UGD</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori resiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau 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

Tabel 2.3 Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<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 fasilitas 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>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran ) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(Sumber: SNI 1726:2012 subpasal 4.1.2)

Setiap kategori resiko memiliki faktor keutamaan gempa. Tabel berikut ini menunjukkan nilai faktor keutamaan per kategori resiko struktur bangunan:

Tabel 2.4 Faktor keutamaan gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: SNI 1726:2012 subpasal 4.1.2)

### 2.3.3 Kategori Desain Seismik (KDS)

Struktur perlu memiliki suatu kategori desain seismik berdasarkan kategori resikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, baik pada perioda pendek ( $S_{DS}$ ) maupun pada perioda 1 detik ( $S_{DI}$ ).

Tabel 2.5 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai $S_{DS}$	Kategori resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2012 pasal 6.5)

Tabel 2.6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai $S_{DI}$	Kategori resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2012 pasal 6.5)

### 2.3.4 Kombinasi Sistem Perangkai

Kombinasi sistem perangkai merupakan sistem penahan gaya gempa di masing-masing arah ke dua sumbu ortogonal struktur. Setiap jenis sistem penahan gaya gempa memiliki nilai faktor  $R$ ,  $Cd$ , dan  $\Omega_0$  tertentu, yang termuat dalam tabel 9 SNI 1726:2012.

### 2.3.5 Periode Fundamental

Periode fundamental struktur ( $T$ ) untuk arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Nilai  $T$  tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ ) dan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ). Perhitungan periode fundamental struktur ( $T$ ) pada umumnya menggunakan periode bangunan pendekatan ( $T_a$ ) yang dihitung menggunakan rumus berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (2-10)$$

Dimana:

$T_a$  = periode fundamental struktur (detik)

$h_n$  = ketinggian struktur (m)

$C_t$  dan  $x$  merupakan nilai koefisien (tabel 2.7)

Nilai koefisien untuk batas atas ( $C_u$ ) pada periode diberikan pada tabel berikut ini:

Tabel 2.7 Nilai  $C_u$

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik ( $S_{DI}$ )	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber: SNI 1726:2012 subpasal 7.8.2)

Nilai parameter periode pendekatan  $C_t$  dan  $x$  diberikan pada tabel berikut:

Tabel 2.8 Nilai  $C_t$  dan  $x$

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 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

Tabel 2.8 Nilai  $C_t$  dan  $x$  (lanjutan)

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
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 subpasal 7.8.2)

### 2.3.6 Spektrum Respons Desain

Spektrum respons desain mengacu pada beberapa ketentuan dan gambar kurva berikut:

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain

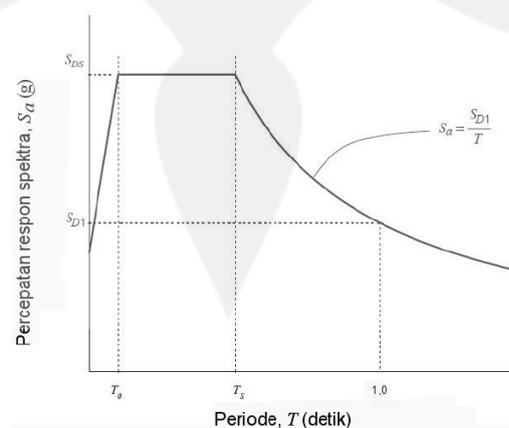
( $S_a$ ) harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2-11)$$

2. Untuk perioda 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  $S_{DS}$

3. Untuk perioda lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain ( $S_a$ ) diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{DS}}{T} \quad (2-12)$$



Gambar 2.1 Spektrum Respons Desain  
(Sumber: SNI 1726:2012 pasal 6.4)

Keterangan:

$S_{DS}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

$S_{D1}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

$T$  = perioda getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-13)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-14)$$

### 2.3.7 Koefisien Respons Seismik

Koefisien respons seismik ( $C_s$ ) ditentukan melalui persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_\varepsilon}\right)} \quad (2-15)$$

Keterangan:

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektrum respons pada periode 1,0 detik

$R$  = faktor modifikasi respons

$I_\varepsilon$  = faktor keutamaan gempa

Selanjutnya, nilai  $C_s$  tidak boleh melebihi:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_\varepsilon}\right)} \quad (2-16)$$

dan tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_\varepsilon \geq 0,01 \quad (2-17)$$

Keterangan:

$S_{D1}$  = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode 1,0 detik

$T$  = perioda fundamental struktur

### 2.3.8 Gaya Dasar Seismik

Gaya dasar seismik ( $V$ ) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W \quad (2-18)$$

Keterangan:

$C_s$  = koefisien respons seismik

$W$  = berat seismik efektif

### 2.3.9 Distribusi beban lateral

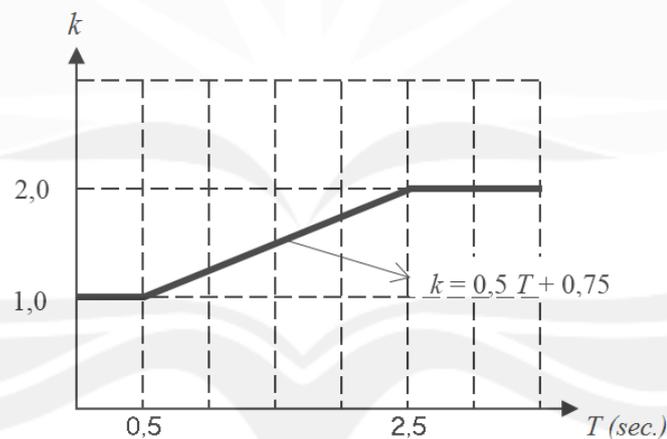
Distribusi beban lateral per lantai ( $F_x$ ) dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (2-19)$$

Dengan nilai  $C_{vx}$  adalah

$$C_{vx} = \frac{\sum_{i=1}^n w_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k} \quad (2-20)$$

Nilai  $k$  ditentukan dengan grafik berikut ini:



Gambar 2.2 Grafik koefisien  $k$

## 2.4 Perancangan Elemen Struktur

Elemen struktur gedung terdiri atas dua bagian utama, yaitu struktur atas dan struktur bawah (Asroni, 2010). Struktur atas merupakan komponen struktur bangunan yang berada di atas permukaan tanah, antara lain balok, kolom, pelat, dan

tangga. Struktur bawah terdiri atas komponen struktur bangunan yang terletak di bawah permukaan tanah, seperti pondasi dan dinding penahan tanah.

#### 2.4.1 Balok

Balok merupakan komponen struktur atas (*upper structure*) suatu bangunan yang menerima gaya-gaya transversal terhadap sumbunya dan mengakibatkan terjadinya momen lentur dan geser. Balok dikenal sebagai elemen lentur. Lentur pada balok disebabkan adanya regangan (deformasi) yang timbul karena adanya beban luar (Nawy, 2010).

Peningkatan kapasitas beban luar akan mengakibatkan deformasi dan regangan tambahan. Tambahan deformasi dan regangan mengakibatkan timbulnya retak lentur di sepanjang bentang balok. Apabila beban luar terus bertambah, maka akan terjadi keruntuhan elemen struktur. Nawy (2010) membagi tiga kelompok balok berdasarkan jenis keruntuhannya, yaitu:

1. Penampang *balanced*

Pada kondisi ini, tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diijinkan pada serat tepi yang tertekan adalah 0,003, sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya, yaitu  $\varepsilon_y = f_y/E_s$ .

2. Penampang *over-reinforced*

Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada saat awal keruntuhan, regangan baja  $\varepsilon_s$  yang terjadi masih lebih kecil daripada regangan lelehnya ( $\varepsilon_y$ ). Dengan demikian, tegangan baja  $f_s$  juga lebih kecil dari pada

tegangan lelehnya ( $f_y$ ). Kondisi ini terjadi apabila tulanga 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  $\epsilon_y$ . Kondisi penampang demikian dapat terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi *balanced*.

#### 2.4.1.1 Penentuan Dimensi Balok

Dimensi balok ditentukan menggunakan tabel berikut:

Tabel 2.9 Tebal minimum balok non-prategang

Komponen struktur	Tebal minimum, $h$			
	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			
Balok atau pelat rusuk satu arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$
Catatan:				
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Panjang bentang dalam mm</li> <li>- Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan dengan mutu 420 Mpa.</li> <li>- Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasi sebagai berikut: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (<math>w_c</math>) di antara 1440 sampai 1840 kg/m<sup>3</sup>, nilai tadi harus dikalikan dengan <math>(1,65 - 0,0003 w_c)</math> tetapi tidak kurang dari 1,09</li> <li>- Untuk <math>f_y</math> selain 420 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan <math>0,4 + f_y/700</math></li> </ul> </li> </ul>				

(Sumber: Tabel 9.5(a) SNI 2847:2013)

Beberapa persyaratan berkaitan dengan penentuan dimensi balok antara lain:

1. Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur ( $P_u$ ) tidak boleh

$$\text{melebihi } \frac{A_g \cdot f'_c}{10} \quad (2-21)$$

2. Bentang bersih untuk komponen struktur ( $l_n$ ) tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya
3. Lebar komponen ( $b$ ) tidak boleh kurang dari  $0,3 h$  atau 250 mm

#### 2.4.1.2 Tulangan Longitudinal

Tulangan longitudinal berfungsi untuk menahan beban lentur pada balok. Untuk itu, perancangan tulangan longitudinal menggunakan data momen desain. Perhitungan momen akibat pembebanan gravitasi dan komponen vertikal gaya gempa dilakukan di penampang-penampang kritis elemen, yaitu di tengah bentang (momen positif) dan di muka-muka tumpuan (momen negatif). Perhitungan momen dilakukan menggunakan *software* analisis struktur, yaitu ETABS (Imran dan Hendrik, 2009).

Langkah-langkah dan persamaan dalam menghitung tulangan longitudinal adalah sebagai berikut:

$$R_n \text{ perlu} = \frac{M_u}{0,9b_w \cdot d^2} \quad (2-22)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \cdot f_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c}} \right) \quad (2-23)$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} \quad \text{atau} \quad \rho_{\text{min}} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_c}}{f_y} \quad (2-24)$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,025$$

$$\text{Luas tulangan perlu (} A_s \text{ perlu)} = \frac{A_{S\text{perlu}}}{\text{luas 1 tulangan}} \quad (2-25)$$

$$\text{Periksa syarat } \phi M_n \geq M_u \quad (2-26)$$

### 2.4.1.3 Tulangan Transversal

Gaya geser rencana ( $V_e$ ) ditentukan dengan meninjau gaya statik pada bagian komponen struktur antara dua muka tumpuan. Momen  $M_{pr}$  dengan tanda berlawanan dianggap bekerja pada muka-muka joint dan komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor sepanjang bentangnya (SNI 2847:2013 pasal 21.5).

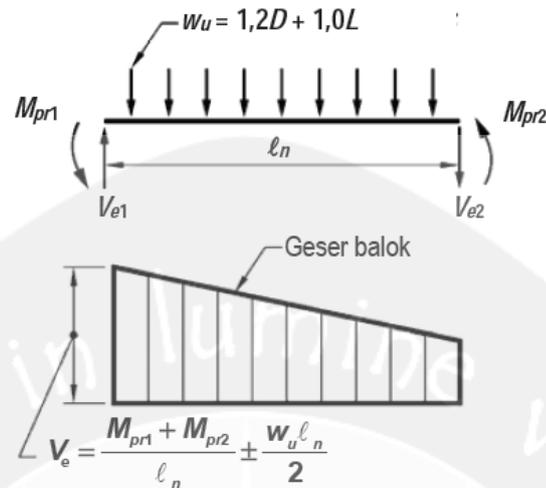
Momen  $M_{pr}$  dihitung dari tulangan terpasang dengan tegangan tarik  $1,25 f_y$  dan faktor reduksi  $\Phi = 1,0$ . Nilai  $M_{pr}$  dihitung menggunakan rumus berikut:

$$M_{pr} = A_s \cdot [1,25 \cdot f_y] \left[ d - \frac{A_s \cdot (1,25 f_y)}{0,85 f'_c \cdot b} \right] \quad (2-27)$$

Gaya geser rencana ( $V_e$ ) merupakan nilai terbesar akibat beban gempa arah ke kanan dan ke kiri. Nilai  $V_e$  dihitung dengan persamaan:

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{W_u \cdot l_n}{2} \quad (2-28)$$

Sketsa gaya geser rencana akibat beban gravitasi dan beban gempa diberikan pada gambar berikut:



Gambar 2.3 Geser desain  
(Sumber: SNI 2847:2013 pasal 21.6)

Kuat geser pada balok ditahan oleh beton ( $V_c$ ) dan tulangan dalam betruk tulangan transversal. Nilai  $V_c = 0$  apabila:

- Gaya geser akibat gempa saja (akibat  $M_{pr}$ )  $> 0,5$  total geser maksimum (akibat  $M_{pr}$  dan beban gravitasi)
- Gaya aksial tekan ( $P_u$ )  $< A_g f'_c / 20$  (2-29)

Jika salah satu dari kedua hal di atas tidak terpenuhi, maka perhitungan  $V_c$  mengikuti aturan desain non gempa

Kuat geser nominal yang ditahan oleh tulangan geser adalah:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (2-30)$$

Kontrol kuat geser nominal tidak boleh lebih besar dari  $V_s$  max

$$V_{s\max} = \frac{2}{3} \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt{f'_c} \quad (2-31)$$

dan tidak lebih kecil dari  $V_s < \frac{1}{3} \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt{f'_c}$  (2-32)

Spasi tulangan dihitung melalui persamaan:

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \quad (2-33)$$

Sengkang tertutup pertama ditempatkan kurang lebih 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi tulangan tidak boleh lebih besar dari (SNI 2847:2013 pasal 21.5):

- a.  $d/4$
- b. enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama
- c. 150 mm

Selanjutnya, subpasal 21.5.3.4 mengatur daerah yang tidak memerlukan sengkang, tetap diberi sengkang dengan kait gempa pada ke dua ujung dengan jarak tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang panjang komponen struktur.

#### 2.4.2 Kolom

Kolom merupakan komponen struktur bangunan yang memiliki fungsi utama sebagai penyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil (Dipohusodo, 1996). Asroni (2010) mendefinisikan kolom sebagai komponen struktur yang menahan beban-beban dari balok dan pelat, untuk diteruskan ke tanah melalui fondasi. Beban dari balok dan pelat dapat berupa beban aksial tekan serta momen lentur (akibat kontinuitas konstruksi).

Kolom dibedakan beberapa jenis menurut bentuk dan susunan tulangan, letak/posisi beban aksial pada penampang kolom, dan ukuran panjang-pendek kolom.

Bentuk dan susunan tulangan kolom terdiri atas tiga macam, yaitu:

1. Kolom segi empat, baik empat persegi panjang maupun bujur sangkar, dengan tulangan memanjang dan sengkang
2. Kolom bulat dengan tulangan memanjang dan sengkang atau spiral
3. Kolom komposit, yaitu kolom yang terdiri atas beton dan profil baja struktural yang berada di dalam beton.

Berdasarkan letak/posisi beban aksial, kolom dibagi atas:

1. Kolom dengan posisi beban sentris, yaitu kolom yang menahan beban aksial tepat pada sumbu kolom
2. Kolom dengan posisi beban eksentris, yaitu beban aksial bekerja di luar sumbu kolom dengan eksentrisitas sebesar  $e$

Berdasarkan ukuran panjang-pendeknya, kolom terbagi atas:

1. Kolom panjang (kolom langsing)  
Beban yang bekerja pada kolom panjang menyebabkan terjadinya keruntuhan kolom akibat kehilangan stabilitas lateral karena bahaya tekuk
2. Kolom pendek  
Keruntuhan pada kolom pendek disebabkan oleh kegagalan materialnya (lelehnya baja tulangan dan/atau hancurnya beton)

Penampang kolom dibagi menjadi dua kondisi awal keruntuhan, yaitu keruntuhan tarik dan keruntuhan tekan. Keruntuhan tarik diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik. Keruntuhan tekan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Kondisi *balanced* terjadi apabila lelehnya tulangan yang tertarik dan hancurnya beton yang tertekan terjadi bersamaan.

### 2.4.2.1 Penentuan Dimensi Kolom

Penentuan dimensi kolom dilakukan berdasarkan beban aksial yang bekerja pada kolom tersebut. Untuk itu, perlu dilakukan perkiraan terhadap beban hidup dan beban mati yang ditumpu oleh kolom tersebut. Selanjutnya, dimensi kolom dihitung dengan rumus desain beban aksial maksimum ( $\phi P_{nmaks}$ ), yaitu:

- a. Untuk komponen struktur non prategang dengan tulangan spiral:

$$\phi P_{nmaks} = 0,85 \cdot \phi \cdot [0,85 \cdot f_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] \quad (2-34)$$

- b. Untuk komponen struktur non prategang dengan tulangan pengikat:

$$\phi P_{nmaks} = 0,80 \cdot \phi \cdot [0,85 \cdot f_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] \quad (2-35)$$

Beberapa persyaratan dimensi kolom yang harus dipenuhi, antara lain:

- a. Besarnya beban aksial terfaktor yang bekerja pada komponen struktur kolom dibatasi tidak kurang dari  $0,1A_g f'_c$  (2-36)
- b. Ukuran penampang terkecil tidak kurang dari 300 mm
- c. Perbandingan antara ukuran terkecil penampang terhadap ukuran dalam arah tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4

### 2.4.2.2 Kelangsingan Kolom

Persyaratan kelangsingan kolom termuat dalam pasal 10.10 SNI 2847:2013.

Pengaruh kelangsingan ini dapat diabaikan apabila:

- a. Untuk komponen struktur tekan yang tidak dibresing terhadap goyangan

$$\text{menyamping: } \frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (2-37)$$

- b. Untuk komponen struktur tekan yang dibresing terhadap goyangan

$$\text{menyamping: } \frac{kl_u}{r} \leq 34 - 12(M_1/M_2) \leq 40 \quad (2-38)$$

dimana:

$k$  = faktor panjang efektif, untuk kolom terkekang nilainya kurang dari 1

$l_u$  = panjang kolom efektif tanpa sokongan

$r$  = radius girasi

$M_1$  = momen ujung terfaktor yang terkecil pada kolom

$M_2$  = momen ujung terfaktor yang terbesar pada kolom

$M_1/M_2$  akan bernilai positif apabila kolom dibengkokkan dalam kurvatur tunggal, dan negatif apabila komponen struktur dibengkokkan dalam kurvatur ganda. Panjang komponen struktur tekan yang tidak tertumpu ( $l_u$ ) harus diambil sebagai jarak bersih antara slab lantai, balok, atau komponen struktur lainnya yang mampu menyediakan tumpuan lateral dalam arah yang ditinjau. Radius girasi  $r$  boleh diambil sama dengan 0,30 kali dimensi keseluruhan dalam arah stabilitas yang ditinjau untuk komponen struktur tekan persegi dan 0,25 kali diameter untuk komponen struktur tekan bulat.

#### 2.4.2.3 Tulangan Longitudinal

Tulangan longitudinal pada kolom harus memenuhi ketentuan yang terdapat pada subpasal 21.6.3 SNI 2847:2013, antara lain:

- a. Luas tulangan memanjang ( $A_{st}$ ) tidak boleh kurang dari  $0,01 \cdot A_g$  atau lebih dari  $0,06 \cdot A_g$
- b. Pada kolom dengan sengkang tertutup bulat, jumlah batang tulangan longitudinal harus enam.

#### 2.4.2.4 Perencanaan Lentur

Dalam SNI 2847:2013 subpasal 21.6.2, kuat lentur kolom harus memenuhi ketentuan kolom kuat balok lemah (*Strong Columns Weak Beams*), seperti yang diberikan pada persamaan berikut:

$$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb} \quad (2-39)$$

Keterangan:

$\Sigma M_{nc}$  = jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka pada hubungan balok kolom. Kuat lentur nominal harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, yang sesuai dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kuat lentur nominal terkecil.

$\Sigma M_{nb}$  = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka pada hubungan balok kolom.

#### 2.4.2.5 Tulangan Transversal

Tulangan transversal pada kolom berfungsi untuk mengekang daerah inti kolom. Tulangan transversal pada kolom dapat berupa tulangan spiral atau tulangan sengkang tertutup. Tulangan transversal harus dipasang sepanjang  $l_o$  dari setiap muka joint dan pada kedua sisi sembarang penampang dimana pelelehan lentur seperti terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis rangka. SNI 2847:2013 subpasal 21.6.4 memberikan batasan panjang  $l_o$  tidak boleh kurang dari yang terbesar antara:

- a. Tinggi komponen struktur pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur seperti terjadi
- b. Seperenam bentang bersih komponen struktur
- c. 450 mm

Jumlah tulangan transversal, baik spiral maupun sengkang tertutup, harus memenuhi ketentuan berikut:

- a. Rasio volume tulangan spiral atau sengkang ( $\rho_s$ ) tidak boleh kurang dari

$$\rho_s = 0,12 \frac{f_c}{f_{yh}} \quad (2-40)$$

$$\rho_s = 0,45 \cdot \left( \frac{A_g}{A_c} \right) \cdot \frac{f_c}{f_{yh}} \quad (2-41)$$

- b. Luas penampang total tulangan sengkang persegi Ash tidak boleh kurang dari:

$$A_{sh} = 0,3 \cdot \left( \frac{sb_c \cdot f_c}{f_{yt}} \right) \cdot \left( \frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \quad (2-42)$$

$$\text{dan } A_{sh} = 0,09 \cdot \left( \frac{sb_c \cdot f_c}{f_{yt}} \right) \quad (2-43)$$

Spasi tulangan transversal pada daerah sendi plastis ( $l_o$ ) tidak boleh melebihi yang terkecil dari (SNI 2847:2013 subpasal 21.6.4):

- Seperempat dimensi komponen struktur minimum
- Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil

$$c. \quad S_0 = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (2-44)$$

Di luar panjang  $l_o$ , tulangan transversal tetap ditempatkan dengan jarak:

- $S \leq 6 d_b$  tulangan memanjang
- $S \leq 150 \text{ mm}$

#### 2.4.2.6 Perencanaan Geser

Gaya geser rencana ( $V_e$ ) untuk perencanaan geser kolom harus ditentukan berdasarkan gaya lentur maksimum yang dapat terjadi pada muka hubungan balok kolom pada setiap ujung komponen struktur. Namun demikian, momen  $M_{pr}$  kolom

yang digunakan untuk perhitungan  $V_e$  tidak perlu lebih besar daripada  $M_{pr}$  balok yang merangka pada hubungan balok kolom yang sama. Gaya geser  $V_e$  yang digunakan untuk desain tidak boleh lebih kecil daripada nilai gaya geser hasil analisis struktur (Imran dan Hendrik, 2009).

Dalam SNI 2847:2013 subpasal 21.6.5, tulangan transversal sepanjang  $l_o$  harus diproporsikan untuk menahan geser dengan mengasumsikan  $V_c = 0$ , apabila:

- a. Gaya geser yang ditimbulkan gempa yang dihitung sesuai dengan  $M_{pr}$  mewakili 50 % atau lebih kuat geser perlu maksimum pada bagian di sepanjang  $l_o$
- b. Gaya tekan aksial terfaktor termasuk akibat pengaruh gempa tidak melampaui  $A_g f'_c / 10$  (2-45)

Jika salah satu dari kedua hal di atas tidak terpenuhi, maka perhitungan  $V_c$  kolom mengikuti aturan desain non gempa.

### 2.4.3 Pelat

Pelat merupakan elemen horizontal struktur (struktur bidang) yang menahan beban-beban luar (beban hidup dan beban mati) dan menyalurkan ke rangka vertikal dari suatu sistem strruktur. Pelat lantai yang terbuat dari beton bertulang perlu mempertimbangkan faktor beban luar, jenis perletakan/tumpuan, dan jenis penghubung di tempat tumpuan. Pelat lantai yang dicetak di tempat biasanya ditumpu oleh balok-balok secara monolit, dimana balok dan pelat dicetak menjadi satu kesatuan (Dipohusodo, 1996).

Pelat lantai sebagai panel-panel beton bertulang dibedakan menjadi pelat satu arah dan pelat dua arah berdasarkan kemampuannya untuk menyalurkan gaya. Pelat satu arah ditumpu hanya pada ke dua sisi yang berlawanan, sedangkan pelat

dua arah ditumpu pada keempat sisinya. Penentuan desain pelat menggunakan sistem satu arah atau dua arah ditentukan berdasarkan perbandingan antara panjang dan lebar pelat. Apabila perbandingan panjang dan lebar pelat tidak lebih dari 2, digunakan penulangan dua arah.

#### 2.4.3.1 Pelat Satu Arah

Tebal minimum ( $h_{min}$ ) pelat satu arah ditentukan melalui tabel berikut:

Tabel 2.10 Tebal minimum pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	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	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Balok atau pelat rusuk satu arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$

Catatan:

- Panjang bentang dalam mm
- Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan dengan mutu 420 Mpa.
- Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasi sebagai berikut:
  - Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis ( $w_c$ ) di antara 1440 sampai 1840  $kg/m^3$ , nilai tadi harus dikalikan dengan  $(1,65 - 0,0003w_c)$  tetapi tidak kurang dari 1,09
  - Untuk  $f_y$  selain 420 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan  $0,4 + f_y/700$

(Sumber: Tabel 9.5(a) SNI 2847:2013)

#### 2.4.3.2 Pelat Dua Arah

Pelat dua arah tanpa balok interior yang membentang di antara dua tumpuan, tebal minimum tidak boleh kurang dari nilai berikut (SNI 2847:2013 subpasal 9.5.3.2, halaman 72):

a. Tanpa panel drop = 125 mm

b. Dengan panel drop = 100 mm

Tabel 2.11 Tebal minimum pelat tanpa balok interior

Nilai $f_y$	Tanpa penebalan			Dengan penebalan		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir	
280	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
420	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
520	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

Beberapa catatan:

- Untuk konstruksi dua arah,  $l_n$  adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur dari muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain
- Untuk  $f_y$  antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier
- Pelat dengan balok di antara kolom-kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai  $\alpha_f$  untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8

(Sumber: Tabel 9.5(c) SNI 2847:2013)

Untuk pelat dua arah dengan balok yang membentang di antara dua tumpuan pada semua sisinya, tebal minimum ( $h_{min}$ ) harus memenuhi ketentuan pada subpasal

9.5.3.3 SNI 2847:2013, antara lain:

- a. Untuk  $\alpha_{fm}$  yang sama atau lebih kecil dari 0,2 mengikuti ketentuan pelat dua arah tanpa balok interior
- b. untuk  $\alpha_{fm}$  lebih besar dari 0,2 tetapi tidak lebih dari 2,0, nilai  $h$  adalah

$$h = \frac{l_n \cdot \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta \cdot (\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (2-46)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm

- c. untuk  $\alpha_{fm}$  lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang

$$\text{dari: } h = \frac{l_n \cdot \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (2-47)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

Keterangan:

$l_n$  = panjang bentang bersih dalam arah panjang diukur muka ke muka balok

$\beta$  = rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap pendek pelat

$\alpha_f$  = rasio kekakuan lentur penampang balok ( $E_{cb}I_b$ ) terhadap kekakuan lentur pelat ( $E_{cs}I_s$ ) yang dibatasi secara lateral oleh garis-garis sumbu tengah dari pelat-pelat yang bersebelahan pada tiap sisi balok

$\alpha_{fm}$  = nilai rata-rata  $\alpha_f$  untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu pelat

- d. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan  $\alpha_f$  tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum dinaikkan kurang lebih 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

#### 2.4.4 Tangga

Beberapa langkah yang dilakukan dalam merancang tangga adalah (Wigroho, 2008):

- a. Menentukan denah ruang tangga

Hal-hal yang diperhatikan dalam merencanakan ruang tangga, antara lain lebar bordes, tinggi oprade ( $O$ ) antara 150 – 200 mm, antrede ( $A$ ) antara 280 – 300 mm.

$$\text{Jumlah anak tangga } n_{tg} = \frac{h_t}{O} \quad (3-48)$$

$$\text{Lebar tangga } L_{tg} = \left( \frac{h_t}{2O} - 1 \right) \cdot A \quad (2-49)$$

$$\text{Sudut kemiringan tangga} \quad \alpha = \tan^{-1} \frac{O}{A} \quad (2-50)$$

Keterangan:

$h_t$  = tinggi lantai  
 $O$  = optrede  
 $A$  = antrede  
 $n_{tg}$  = jumlah anak tangga  
 $L_{tg}$  = lebar tangga

b. Merencanakan beban tangga

Beban tangga dapat berupa beban gravitasi, antara lain beban hidup dan beban mati. Tebal pelat tangga mempengaruhi beban mati yang bekerja pada tangga

c. Merencanakan penulangan tangga

Penulangan pada tangga mencakup tulangan memanjang dan tulangan susut dan suhu.

#### 2.4.5 Pondasi *Bored Pile*

Pondasi merupakan bagian dari struktur bangunan yang mempunyai kontak langsung dengan tanah dan meneruskan beban dari struktur ke lapisan tanah (Redana, 2010). Perencanaan pondasi perlu memperhatikan sifat-sifat dan mekanika tanah, sehingga pondasi tersebut memenuhi syarat untuk mampu dengan aman menebar beban yang diteruskannya dengan tidak melampaui kapasitas/daya dukung tanah (Dipohusodo, 1996). Dengan demikian, struktur pondasi dan lapisan tanah diperhitungkan sebagai suatu kesatuan.

Pondasi diklasifikasikan menjadi pondasi dangkal dan pondasi dalam. Penggunaan pondasi dangkal atau pondasi dalam bergantung pada letak kedalaman tanah dan ketinggian gedung. Apabila daya dukung tanah cukup, pondasi dangkal

dapat dibangun. Sebaliknya, apabila lapisan tanah keras cukup dalam, maka digunakan pondasi dalam. Gedung bertingkat tinggi pada umumnya menggunakan pondasi dalam karena beban yang diperoleh dari superstruktur cukup besar. Pondasi dalam terdiri atas tiang pancang dan tiang bor/*bored pile* (Redana, 2010).

#### 2.4.5.1 Daya Dukung Tiang

Daya dukung tiang pondasi *bored pile* merupakan penjumlahan tahanan ujung ( $Q_b$ ) dan tahanan selimut tiang ( $Q_s$ ).

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad (2-51)$$

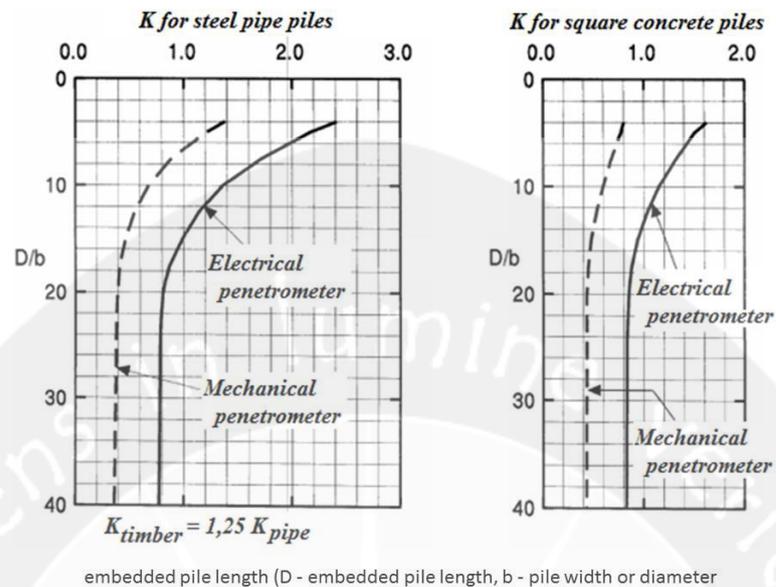
$$Q_b = \frac{qc_1 + qc_2}{2} \cdot A_b \quad (2-52)$$

$$Q_s = K_{s,c} \left[ \sum_{Z=0}^{8D} 0,5 \cdot A_s \cdot f_s + \sum_{Z=8D}^L A_s \cdot f_s \right] \quad (2-53)$$

Keterangan:

- $Q_b$  = Tahanan ujung tiang
- $Q_s$  = Tahanan selimut tiang
- $qc_1$  = Nilai rerata qc dari 0,7 D sampai dengan 4 D di bawah ujung tiang
- $qc_2$  = Nilai rerata qc dari 8 D di atas ujung tiang sampai di ujung tiang
- $A_b$  = Luas penampang tiang
- $A_s$  = Luasan selimut tiang (cm)
- $f_s$  = rata-rata dari nilai fs pada setiap titik CPT ( $fs_1, fs_2$ , dan  $fs_3$ )

Nilai  $K_s$  dan  $K_c$  merupakan faktor reduksi, tergantung pada kedalaman dan nilai gesekan selimut. Karena jenis fondasi berupa beton bertulang, maka digunakan nilai  $K_c$ . Nilai  $K_c$  diperoleh dari grafik berikut ini:



Gambar 2.4 Diagram nilai faktor reduksi ( $K_s$  dan  $K_c$ )

Daya dukung ijin ( $Q_i$ ) tiang dihitung sebagai berikut:

$$Q_i = \frac{Q_u}{FK} \quad (2-54)$$

#### 2.4.5.2 Kelompok Tiang

Beberapa *bored pile* disatukan menggunakan *poer* yang kaku, untuk menerima beban dengan nilai yang besar dari struktur di atasnya. Untuk menentukan jumlah tiang dalam kelompok tiang digunakan rumus:

$$n = \frac{V}{p_1 \text{ tiang}} \quad (2-55)$$

Keterangan:

$n$  = jumlah tiang

$V$  = gaya aksial rencana pondasi

$p_1 \text{ tiang}$  = kekuatan satu tiang

Ketentuan jarak antar tiang adalah sebagai berikut:

$$2,5 D \leq S \leq 3,5 D \quad (2-56)$$

dengan,

$S$  = jarak antar tiang

$D$  = diameter tiang

Jarak tiang ke tepi *poer* adalah

$$1,25 D \leq S \leq 1,5 D \quad (2-57)$$

dengan,

$S$  = jarak tiang ke tepi *poer*

$D$  = diameter tiang

Keamanan satu tiang dalam kelompok perlu dikontrol dengan rumus berikut:

$$P = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y}{\sum y^2} \quad (2-58)$$

Keterangan:

$P$  = beban maksimum yang diterima tiang

$\sum V$  = jumlah total beban normal

$n$  = jumlah tiang dalam satu *poer*

$M_x$  = momen yang bekerja pada tiang tegak lurus sumbu x yang bekerja pada pondasi, diperhitungkan terhadap pusat berat seluruh tiang yang terdapat dalam *poer*

$M_y$  = momen yang bekerja pada tiang tegak lurus sumbu y yang bekerja pada pondasi, diperhitungkan terhadap pusat berat seluruh tiang yang terdapat dalam *poer*

$x$  = absis tiang pancang terhadap titik berat kelompok tiang

$y$  = ordinat tiang pancang terhadap titik berat kelompok tiang

$\sum x^2$  = jumlah kuadrat absis tiang pancang

$\sum y^2$  = jumlah kuadrat ordinat tiang pancang

### 3.4.5.3 Kontrol Terhadap Geser

Keamanan pondasi perlu ditinjau terhadap geser dua arah dan geser satu arah pada *poer*.

- a. Kontrol terhadap geser dua arah

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (2-59)$$

$$V_u < \phi V_n \quad (2-60)$$

Nilai  $V_c$  diambil yang terkecil dari persamaan-persamaan berikut

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \quad (2-61)$$

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \quad (2-62)$$

$$V_c = \left(\frac{a_s d}{b_o} + 2\right) \frac{1}{12} \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \quad (2-63)$$

$$V_u = Q_u (A - B^2) \quad (2-64)$$

Keterangan:

$\beta_c$	= rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom
$b_o$	= keliling penampang kritis pada poer
$d$	= tinggi efektif poer
$B$	= $d + \text{lebar kolom}$
$A$	= luas poer
$\alpha_s$	= 40 untuk kolom interior = 30 untuk kolom tepi = 20 untuk kolom sudut

b. Kontrol terhadap geser satu arah

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (2-65)$$

$$V_u < \phi V_n \quad (2-66)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (2-67)$$

$$V_u = Q_u \cdot L \cdot G \quad (2-68)$$

$$Q_u = \frac{P_u}{A} \quad (2-69)$$

$$G = \frac{1}{2} \text{ lebar poer} - \frac{1}{2} h \text{ kolom} - d \quad (2-70)$$

dimana:

$V_u$  = gaya geser total terfaktor

$V_n$  = kuat geser nominal

$V_c$  = kuat geser oleh beton

$Q_u$  = gaya geser total terfaktor yang bekerja pada penampang kritis

$P_u$  = daya dukung tiang

$b$  = lebar penampang kritis

$d$  = tinggi efektif

$L$  = Lebar *poer*

$A$  = luas *poer*

#### 2.4.5.4 Perencanaan Tulangan Bored Pile

Penulangan pada *bored pile* mengikuti ketentuan berikut:

$$\phi P_n \geq P_u \quad (2-71)$$

Untuk tulangan spiral:

$$\phi P_{nmaks} = 0,85 \cdot \phi \cdot [0,85 \cdot f_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] \quad (2-72)$$

Untuk tulangan sengkang:

$$\phi P_{nmaks} = 0,80 \cdot \phi \cdot [0,85 \cdot f_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] \quad (2-73)$$

Pasal 10.9.3 SNI 2847:2013 menentukan rasio volume tulangan spiral tidak

kurang dari:

$$\rho_s = 0,45 \cdot \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c}{f_{yt}} \quad (2-74)$$

Jarak tulangan spiral (s)

$$s = \frac{4 \cdot a_s \cdot (D_c - d_b)}{D_c^2 \cdot \rho_s} \quad (2-75)$$

#### 2.4.6 Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah merupakan suatu struktur yang menahan tekanan lateral tanah. Dinding penahan tanah berfungsi untuk menyokong tanah dan

mencegah terjadinya bahaya kelongsoran, baik karena akibat berat sendiri maupun beban yang bekerja di atasnya. Jenis-jenis dinding penahan tanah antara lain, dinding gravitasi (*gravity walls*), semigravity walls, dinding kantilever (*cantilever walls*), dan dinding kantilever dengan rusuk (*counterfort retaining walls*), dan *buthessed walls* (Gunawan, 2013).

Perkiraan dimensi dinding penahan tanah dalam proses perancangan perlu memperhatikan parameter-parameter tanah, seperti berat volum tanah, sudut geser dalam efektif, koefisien tekanan tanah, dan kohesifitas tanah. Nilai-nilai parameter tanah mempengaruhi daya dukung tanah terhadap dinding penahan tanah tersebut.

Setelah penentuan dimensi, selanjutnya mengidentifikasi beban-beban yang bekerja pada dinding penahan tanah. Beban-beban tersebut dapat berupa beban mati dan beban hidup.

a. Stabilitas terhadap guling

Keamanan dinding terhadap guling perlu untuk direncanakan. Dinding akan aman apabila perbandingan momen tahanan terhadap momen guling  $\geq$  faktor keamanan (SF). Faktor keamanan terhadap guling adalah 1,5 – 3.

$$\frac{\sum M_{tahan}}{\sum M_{guling}} \geq SF \quad (2-76)$$

b. Stabilitas terhadap penggeseran

Dinding penahan tanah akan aman terhadap geser apabila perbandingan gaya penahan geser dengan gaya yang menggeser  $\geq$  faktor keamanan (SF). Faktor keamanan terhadap geser adalah 1,5 -3.

$$\frac{\sum F_{tahan}}{\sum F_{geser}} \geq SF \quad (2-77)$$

d. Pemeriksaan terhadap daya dukung tanah

Pemeriksaan terhadap daya dukung tanah mencakup dua bagian, yaitu penentuan daya dukung tanah dan penentuan daya dukung dinding penahan tanah. Nilai daya dukung tanah ditentukan dengan rumus Terzaghi:

$$\sigma_{ult} = c \cdot N_c + q \cdot N_q + \beta \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (2-78)$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_{ult}}{SF} \quad (2-79)$$

Sementara itu, daya dukung dinding penahan tanah ditentukan dengan rumus

$$\sigma = \frac{V}{A} \left( 1 \pm \frac{6 \cdot e_x}{B_x} \pm \frac{6 \cdot e_y}{B_y} \right) \quad (2-80)$$

Dinding penahan tanah akan aman apabila

$$\sigma_{maks} \leq 1,5 \bar{\sigma} \quad (2-81)$$

$$\text{dan } \sigma_{min} \geq 0 \quad (2-82)$$

e. Merencanakan Tulangan Dinding Penahan Tanah

Tulangan dinding penahan tanah mencakup tulangan utama/memanjang dan tulangan susut dan suhu. Prosedur dan persamaan yang digunakan dalam perencanaan tulangan utama/memanjang adalah:

$$R_n \text{ perlu} = \frac{M_u}{0,9 b_w d^2} \quad (2-83)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c}} \right) \quad (2-84)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \left( \frac{0,85 \cdot f_c}{f_y} \beta_1 \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2-85)$$

$$A_{s\text{ perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \quad (2-86)$$

$$A_{s\text{ maks}} = \rho_{\text{maks}} \cdot b \cdot d \quad (2-87)$$

$$A_{s\text{ min}} = \rho_g \cdot b \cdot h \quad (2-88)$$

Kebutuhan luas tulangan:

$$A_{s\text{ min}} \leq A_{s\text{ perlu}} \leq A_{s\text{ maks}} \quad (2-89)$$

Jarak antartulangan dihitung sebagai berikut:

$$s = \frac{\left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \right) \cdot 1000}{A_s} \quad (2-90)$$

Kebutuhan tulangan susut dan suhu menggunakan luas tulangan minimum:

$$A_{s\text{ min}} = \rho_g \cdot b \cdot h \quad (2-91)$$