

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Analisis Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013

3.1.1 Kekuatan Perlu

Kekuatan perlu harus paling tidak sama dengan pengaruh beban terfaktor.

Kuat perlu yang digunakan dalam SNI 2847:2013 pasal 9.2.1 sebagai berikut :

$$U = 1,4 D \quad (3-1)$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \quad (3-2)$$

$$U = 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W) \quad (3-3)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \quad (3-4)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 E + 1,0 L \quad (3-5)$$

$$U = 0,9 D + 1,0 W \quad (3-6)$$

$$U = 0,9 D + 1,0 E \quad (3-7)$$

3.1.2 Kekuatan Desain

Kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal geser, dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan dan asumsi dari standar ini, yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan. Berikut adalah faktor reduksi kekuatan :

- a. Penampang terkendali tarik mempunyai faktor reduksi 0,90
- b. Penampang terkendali tekan, untuk komponen dengan tulangan spiral mempunyai faktor reduksi 0,75, sedangkan untuk tulangan lainnya mempunyai faktor reduksi 0,65.
- c. Geser dan torsi mempunyai faktor reduksi 0,75

- d. Tumpuan pada beton (kecuali untuk daerah angkur pasca Tarik dan model strat dan pengikat) mempunyai faktor reduksi 0,65
- e. Daerah angkur pasca tarik mempunyai faktor reduksi 0,85
- f. Model strat dan pengikat mempunyai faktor reduksi 0,75
- g. Penampang lentur dalam komponen struktur pratarik dimana penanaman strand kurang dari panjang penyaluran. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer mempunyai faktor reduksi 0,75 sedangkan dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran faktor reduksi boleh ditingkatkan secara linier dari 0,75 sampai 0,9

3.1.3 Komponen Struktur Lentur Rangka Momen Khusus

Komponen struktur lentur didefinisikan sebagai komponen struktur di mana :

1. Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur, P_u , tidak boleh melebihi $A_g \cdot f'_c / 10$
2. Bentang bersih untuk komponen struktur, l_m , tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektif.
3. Lebar komponen, b_w , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari $0,3h$ dan 250 mm.
4. Lebar komponen struktur, b_w , tidak boleh melebihi lebar komponen struktur penumpu, C_2 . Ditambah suatu jarak pada masing-masing sisi komponen struktur penumpu yang sama dengan lebih kecil dari:

- a Lebar komponen struktur penumpu, C_2
- b 0,75 kali dimensi keseluruhan komponen struktur penumpu C_1

3.1.3.1 Tulangan Logitudinal

Pada sebarang penampang komponen struktur lentur, untuk tulangan atas maupun bawah, jumlah tulangan tidak boleh kurang dari yang diberikan :

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} \cdot b_w \cdot d \quad (3-8)$$

Tetapi tidak boleh kurang dari

$$A_s = 1,4 \cdot b_w \cdot \frac{d}{f_y} \quad (3-9)$$

Dan rasio tulangan, ρ , tidak boleh melebihi 0,025

Paling sedikit dua batang tulangan harus disediakan menerus pada kedua sisi atas dan bawah.

Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu dari joint tersebut.

3.1.3.2 Tulangan Transversal

Menurut SNI beton 2013 pasal 21.5.3, sengkang yang dipasang pada daerah komponen struktur rangka berikut :

- Sepanjang suatu panjang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur yang diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung komponen struktur lentur.
- Sepanjang panjang-panjang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi dalam hubungan dengan perpindahan lateral inelastic rangka.

Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari

- $d/4$.
- enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama tidak termasuk tulangan kulit longitudinal yang disyaratkan..
- 150 mm.

Bila sengkang tertutup diperlukan, batang terlentur utama yang terdekat ke muka Tarik dan tekan harus mempunyai tumpuan lateral yang memenuhi syarat. Spasi tulangan lentur yang tertumpu secara transversal tidak boleh melebihi 350 mm. tulangan kulit yang disyaratkan tidak perlu tertumpu secara lateral.

Bila sengkang tertutup tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempu pada kedua ujung harus dispasikan dengan jarak tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang komponen lentur.

Sengkang pada komponen struktur lentur diizinkan terbentuk dari dua potongan tulangan: sebuah sengkang yang mempunyai kait gempa pada kedua ujungnya dan ditutup oleh pengikat silang. Pengikat silang berurutan yang mengikat batang tulangan memanjang yang sama harus mempunyai kait 90 derajatnya pada sisi komponen struktur lentur yang berlawanan. Jika batang tulangan memanjang yang diamankan oleh pengikat silang dikekang oleh slab hanya pada satu sisi komponen struktur rangka lentur, kait pengikat silang 90 derajat harus ditempatkan pada sisi tersebut.

3.1.3.3 Persyaratan Kekuatan Geser

Gaya geser desain V_e , harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka-muka joint. Harus diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin M_{pr} , bekerja pada muka-muka joint dan bahwa komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor sepanjang bentangnya.

Tulangan transversal sepanjang panjang yang diidentifikasi berdasarkan pasal 21.5.3. Harus dipoporsikan untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bilamana terjadi :

- Gaya geser yang ditimbulkan gempa dihitung sesuai dengan gaya geser desain V_e , mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam panjang tersebut.

- Gaya tekan aksial terfaktor P_u , termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g \cdot f_c' / 20$.

3.1.4 Komponen Rangka Momen Khusus Yang Dikenai Beban Lentur Dan Aksial

Komponen struktur yang dibahas dalam pasal ini adalah komponen struktur kolom, untuk komponen struktur rangka momen khusus yang membentuk bagian sistem penahan gaya gempa dan menahan gaya tekan aksial terfaktor P_u akibat sebarang kombinasi beban yang melebihi $A_g \cdot f_c' / 10$. Komponen struktur rangka ini harus juga memenuhi kondisi-kondisi yang telah disyaratkan yaitu : dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300 mm dan rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.

3.1.4.1 Kekuatan Lentur Minimum Kolom

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi persamaan berikut :

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad (3-10)$$

$\sum M_{nc}$ = jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint yang dievaluasi di muka-muka joint. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.

$\sum M_{nb}$ = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint. Pada konstruksi balok-T,

bilamana kondisi taril akibat momen-momen di muka joint, tulangan slab dalam lebar slab efektif yang diidentifikasi harus diasumsikan menyumbang kepada M_{nb} jika tulangan slab disalurkan pada penampang kritis untuk lentur.

Kekuatan lentur harus dijumlahkan sedemikian hingga momen-momen kolom yang berlawanan dengan momen-momen balok. Persamaan yang diatas harus dipenuhi untuk momen-momen balok yang bekerja pada kedua arah pada bidang vertical rangka yang ditinjau.

Jika syarat yang diatas tidak dipenuhi pada suatu joint, kekuatan lateral dan kekuatan lateral dan kekakuan kolom yang merangka ke dalam joint tersebut harus diabaikan bilamana menentukan kekuatan dan kekakuan struktur yang dihitung. Kolom-kolom ini harus memenuhi syarat yang lain.

3.1.4.2 Tulangan Memanjang

Luas tulangan memanjang, A_{st} tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,06A_g$. Pada kolom dengan sengkang tertutup bulat, jumlah batang tulangan longitudinal minimum harus 6.

3.1.4.3 Tulangan Transversal

Spasi tulangan transversal sepanjang panjang l_o komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

- Seperempat dimensi komponen struktur minimum
- Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil
- S_o , seperti didefinisikan oleh persamaan

$$S_0 = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (3-11)$$

3.1.4.4 Persyaratan Kekuatan Geser

Gaya geser desain V_e , harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka pertemuan-pertemuan (joint) di setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya joint ini harus ditentukan menggunakan kekuatan momen maksimum yang mungkin M_{pr} , di setiap ujung komponen struktur yang berhubungan dari rentang beban aksial terfaktor P_u , yang bekerja pada kompoenen struktur.

Geser kompoenen struktur tidak perlu melebihi yang ditentukan dari kekuatan joint berdasarkan pada M_{pr} , komponen struktur transversal yang merangka ke dalam joint. Dalam semua kasus V_e , tidak boleh kurang dari geser terfaktor yang ditentukan oleh analisis struktur.

Tulangan transversal sepanjang panjang l_o , yang diidentifikasi harus diproporsikan untk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bila mana keduanya :

- a. Gaya geser ditimbulkan gempa, yang dihitung mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam l_o .
- b. Gaya tekan aksial terfaktor P_u , termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f_c' / 10$

3.1.5 Joint Rangka Momen Khusus

Gaya-gaya pada tulangan pada tulangan balok longitudinal di muka joint harus ditentukan dengan mengasumsikan bahwa tegangan pada tulangan Tarik lentur adalah $1,25.f_y$.

Tulangan longitudinal balok yang dihentikan dalam suatu kolom harus diteruskan ke muka jauh inis kolom terkekang dan diangkur dalam kondisi Tarik dan kondisi tekan

Bila tulangan balok longitudinal menerus melalui joint balok-kolom, dimensi kolom yang sejajar terhadap tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter batang tulangan balok longitudinal terbesar untuk beton normal (*normalweight*). Untuk beton ringan (*lightweight*), dimensinya tidak boleh kurang dari 26 kali diameter batang tulangan.

Kekuatan geser untuk beton berat nominal, V_n , joint tidak boleh diambil sebagai yang lebih besar dari nilai yang telah ditetapkan sebagai berikut :

- Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada semua empat muka $1,7\sqrt{f_c'}A_j$
- Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada tiga muka atau pada dua muka berlawanan $1,2\sqrt{f_c'}A_j$
- Untuk kasus-kasus lainnya $1,0\sqrt{f_c'}A_j$

Suatu balok yang merangka ke dalam suatu muka dianggap memberikan pengekanan pada *joint* bila balok tersebut menutupi paling sedikit tiga perempat

muka *joint*. Perpanjangan balok paling sedikit satu kali tinggi balok keseluruhan h melewati muka *joint* diizinkan untuk dianggap mencukupi untuk mengekang muka *joint* tersebut.

A_j adalah luas penampang efektif dalam suatu *joint* yang dihitung dari tinggi *joint* kali lebar *joint* efektif. Tinggi *joint* harus merupakan tinggi keseluruhan kolom, h . Lebar *joint* efektif harus merupakan lebar keseluruhan kolom, kecuali bilamana suatu balok merangka ke dalam suatu kolom yang lebih lebar, lebar *joint* efektif tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari :

- a. Lebar balok ditambah tinggi *joint*.
- b. Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.

3.2. Perencanaan Fondasi Borepile

Analisis daya dukung ijin tekan fondasi tiang terhadap kekuatan tanah berdasarkan data sondir menggunakan formula sebagai berikut :

$$P_a = \frac{q_c \cdot A_p}{FK1} + \frac{T_f \cdot A_{st}}{FK2} \quad (3-12)$$

Dimana nilai T_f untuk tanah pasir dinyatakan sebagai berikut ini

$$T_f = \frac{q_c}{200} \quad (3-13)$$

dengan:

P_a = daya dukung ijin tekan tiang

q_c	= tahanan ujungkonus sondir
A_p	= luas penampang
T_f	= total friksi/jumlah hambatan pelekat
A_{st}	= keliingenampang tiang
$FK1, FK2$	= faktor keamanan, 3 dan 5

Bored pile disatukan dalam kelompok dengan menggunakan *poer* yang dianggap kaku sehingga bila beban yang bekerja pada kelompok tiang menimbulkan penurunan maka setelah penurunan bidang, *poer* tetap merupakan bidang datar dan gaya-gaya yang bekerja pada tiang berbanding lurus dengan penurunan tiang-tiang tersebut.

Untuk menentukan jumlah tiang dalam kelompok tiang digunakan persamaan seperti yang tercantum di bawah ini.

$$n = \frac{V}{P_{tiang}} \quad (3-14)$$

dengan :

n = jumlah tiang
 V = gaya aksial rencana fondasi

Untuk kelompok tiang, jarak antar tiang dapat digunakan rumus dan ketentuan sebagai berikut ini.

$$2,5D \leq S \leq 3,5D \quad (3-15)$$

dengan :

S = Jarak antar tiang
 D = Diameter tiang

Sedangkan jarak tiang ke tepi poer dibatasi dengan persamaan sebagai berikut ini.

$$1,25D \leq S \leq 1,5D \quad (3-16)$$

dengan :

S = Jarak tiang ke tepi poer

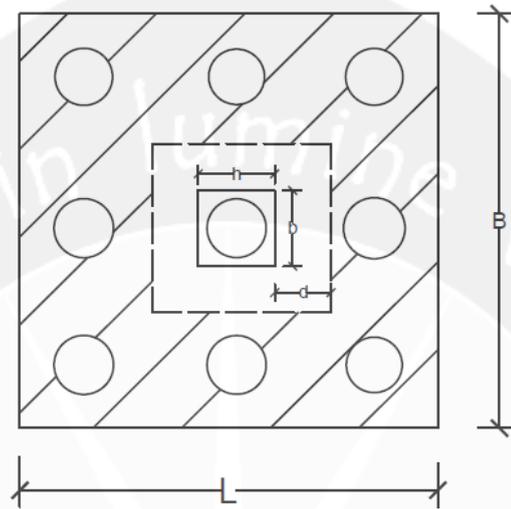
D = Diameter tiang

Perencanaan Poer

Ketebalan fondasi telapak di atas lapisan tulangan bawah tidak boleh kurang dari 300 mm untuk fondasi telapak di atas pancang.

Tebal selimut beton minimum untuk beton yang ditor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah adalah 75 mm.

Kontrol Terhadap Geser Dua Arah Pada *Poer*



Gambar 3.1 Daerah kritis poer untuk geser 1 arah

$$V_u < \phi.V_n \quad (3-17)$$

$$V_n = \phi.V_c ; \phi = 0,75 \quad (3-18)$$

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6} . b_o . d \quad (3-19)$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} . b_o . d \quad (3-20)$$

$$V_u = n.P_u \quad (3-21)$$

$$b_o = 2.(h + d) + 2.(b + d) \quad (3-22)$$

dengan :

V_u = kuat geser total terfaktor

V_n = kuat geser nominal

V_c = kuat geser yang disumbangkan oleh beton

P_u = daya dukung tiang yang berada di luar penampang kritis

b_o = keliling penampang kritis

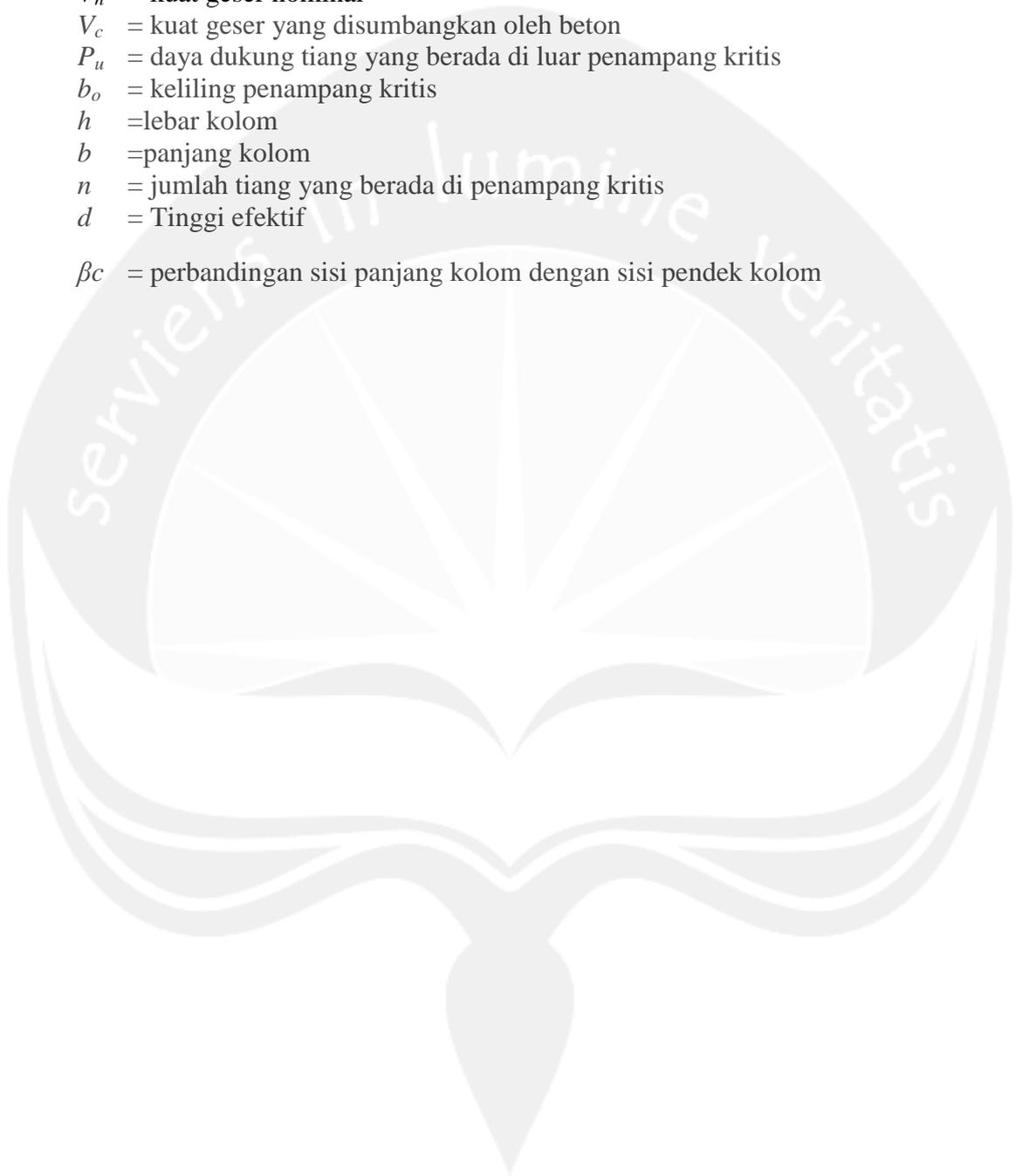
h = lebar kolom

b = panjang kolom

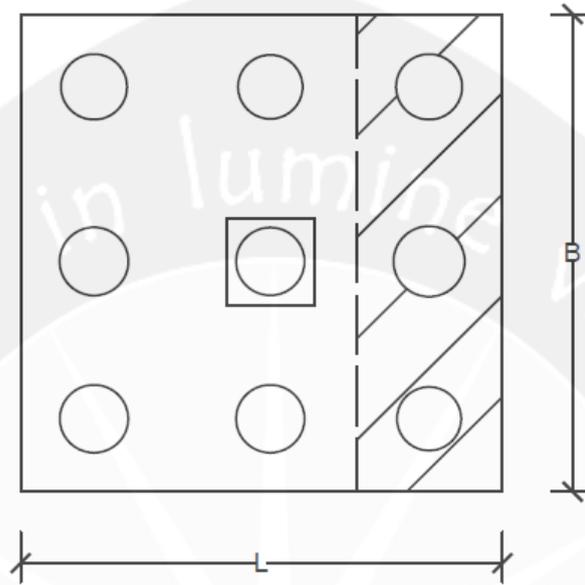
n = jumlah tiang yang berada di penampang kritis

d = Tinggi efektif

β_c = perbandingan sisi panjang kolom dengan sisi pendek kolom



Kontrol Terhadap Geser Satu Arah Pada Poer



Gambar 3.2 Daerah kritis poer untuk geser 2 arah

$$.V_n = \phi.V_c ; \phi = 0,75 \quad (3-23)$$

$$V_u < \phi.V_n \quad (3-24)$$

$$V_c = 2\sqrt{f'_c}.b.d \quad (3-25)$$

atau

$$V_c = \left(\frac{1}{6}\right).\sqrt{f'_c}.b.d \quad (3-26)$$

$$V_u = n.P_u \quad (3-27)$$

$$B = b \quad (3-28)$$

dengan :

- b = panjang penampang kritis pada poer
 d = tinggi efektif poer
 n = jumlah tiang yang berada di daerah kritis

Beban Maksimum Tiang Pada Kelompok Tiang

Kontrol beban yang diterima satu tiang dalam kelompok tiang adalah sebagai berikut ini.

$$P_{maks} = \frac{P_u}{np} \pm \frac{M_y \cdot X_{max}}{ny \sum X^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_{max}}{nx \sum Y^2} \quad (3-29)$$

dengan :

- P_{maks} = beban maksimum yang diterima tiang
 P_u = jumlah total beban normal
 np = jumlah tiang dalam satu poer
 M_x = Momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu x yang bekerja pada fondasi, diperhitungkan terhadap pusat berat seluruh tiang yang terdapat di dalam poer
 M_y = Momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu y yang bekerja pada fondasi, diperhitungkan terhadap pusat berat seluruh tiang yang terdapat di dalam poer
 X_{max} = jarak tiang arah sumbu x terjauh
 Y_{max} = jarak tiang arah sumbu y terjauh
 $\sum X^2$ = jumlah kuadrat absis tiang
 $\sum Y^2$ = jumlah kuadrat ordinat tiang
 N_x = banyak tiang dalam satu baris arah sumbu x
 N_y = banyak tiang dalam satu baris arah sumbu y

Perencanaan Tulangan Poer

Momen yang terjadi pada poer

$$M_u = V_u \cdot x \quad (3-30)$$

Beban yang terjadi pada poer

$$V_u = n \cdot P_u \quad (3-31)$$

Momen nominal

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}; \phi = 0,90 \quad (3-32)$$

Momen nominal pada poer

$$R_n = \frac{M_n}{bxd^2} \quad (3-33)$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \quad (3-34)$$

Dengan :

- x = panjang tengah tiang daerah kritis ke kolom
- n = jumlah tiang yang berada di daerah kritis
- P_u = beban pada tiang
- M_u = momen ultimit pada poer
- M_n = momen nominal pada poer

Perencanaan Tulangan *Bored Pile*

Perencanaan tulangan *bored pile* harus memenuhi persamaan :

$$\phi.P_n \geq P_u \quad (3-35)$$

dimana :

untuk penulangan spiral

$$P_n = 0,85.\phi.[0,85.f'_c.(A_g - A_{st}) + f_y.A_{st}] \quad (3-36)$$

Untuk penulangan sengkang

$$P_n = 0,8.\phi.[0,85.f'_c.(A_g - A_{st}) + f_y.A_{st}] \quad (3-37)$$

dengan :

- A_g = luas penampang *bored pile*
- A_{st} = luas tulangan *bored pile*
- ϕ = faktor reduksi kekuatan
- = 0,75 untuk kolom dengan penulangan spiral
- = 0,65 kolom dengan penulangan sengkang

3.3. Analisis Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012

3.3.1 Faktor Keutamaan Dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 3.1 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 3.2. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV.

Tabel 3.1 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

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

Tabel 3.1 (Lanjutan)

<p>terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko 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"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <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>	
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat 	IV

Tabel 3.1 (Lanjutan)

<ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - 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 <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	
--	--

(Sumber SNI 1726-2012 Pasal 4.1.2)

Tabel 3.2 Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor Keutamaan gempa, I_e
I atau II	1.0
III	1.25
IV	1.50

3.3.2 Klasifikasi Situs Untuk Desain Seismik

Pasal ini memberikan penjelasan mengenai prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan Tabel 3.3 dan 5.3.

Tabel 3.3 Klasifikasi situs

Kelas situs	v_s (m/detik)	N atau N_{ch}	s_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 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, $w \geq 40\%$, 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 Indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai
 (Sumber SNI 1726-2012 Pasal 5.3)

3.3.3 Wilayah gempa dan spektrum respon

S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 14 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (3-38)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (3-39)$$

Keterangan:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa *MCER* terpetakan untuk periode pendek;

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa *MCER* terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Koefisien situs F_a dan F_v , mengikuti tabel 3.4 dan 3.5 sebagai berikut :

Tabel 3.4 Koefisien situs, F_a

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

CATATAN:

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Tabel 3.5 Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

CATATAN :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs- spesifik, lihat 6.10.1

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, S_{DS} dan pada perioda 1 detik S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS} \quad (3-40)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1} \quad (3-41)$$

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 1.3 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a harus diambil dari persamaan.

$$S_a = S_{Ds} \left(0,4 + 0,6 \cdot \frac{T}{T_0} \right) \quad (3-42)$$

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 :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3-43)$$

Keterangan:

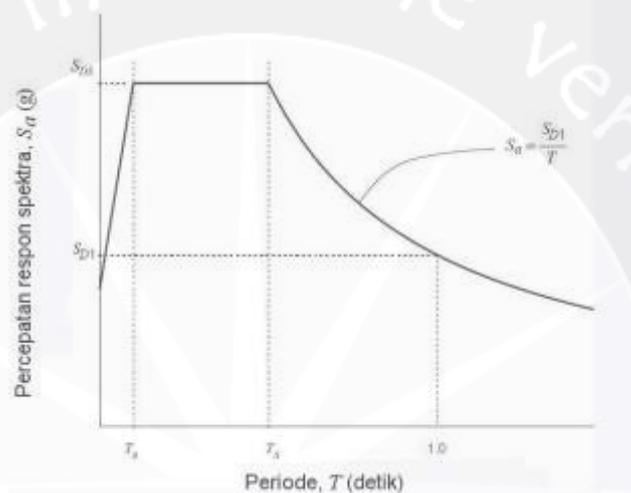
S_{Ds} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek

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

T = perioda getar fundamental struktur.

$$T_o = 0,2 \cdot \frac{S_{Ds}}{S_{Ds}} \quad (3-44)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{Ds}} \quad (3-45)$$



Gambar 3.3 Spektrum respon desain
(Sumber SNI 1726-2012 Pasal 6.4)

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal ini. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spectral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Masing-masing bangunan dan struktur harus

ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 6 atau 7, terlepas dari nilai perioda fundamental getaran struktur, T .

Tabel 3.6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	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

Tabel 3.7 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber SNI 1726-2012 Pasal 6.5)

3.3.4 Perencanaan Umum Struktur Bangunan Gedung

Sistem penahan-gaya gempa yang berbeda diijinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya gempa di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_0 harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Faktor R , C_d dan Ω_d untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^{h,i}	TI ^h	TI ⁱ
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI

(Sumber SNI 1726-2012 Pasal 7.2.2)

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

$$V = C_s \cdot W \quad (3-46)$$

$$C_s = \frac{S_{Ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-47)$$

Keterangan :

W = berat seismik efektif

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

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan Persamaan 22 tidak perlu melebihi berikut ini

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-48)$$

C_s harus tidak kurang dari $C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$.

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_1 sama dengan atau lebih besar dari $0,6g$, maka C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5 \cdot S_1}{\left(\frac{R}{I_E}\right)} \quad (3-49)$$

Keterangan :

di mana I_e dan R sebagaimana didefinisikan

S_{D1} = parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda sebesar 1,0 detik.

T = perioda fundamental struktur (detik).

S_1 = parameter percepatan spektrum respons maksimum yang dipetakan.

Perioda fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari

persamaan berikut :

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (3-50)$$

Keterangan:

h_n = ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 3.9 :

Tabel 3.9 Nilai parameter perioda pendekatan 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 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

(Sumber SNI 1726-2012 Pasal 7.8.2.1)

Gaya gempa lateral (F_x) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari

persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (3-51)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3-52)$$

Keterangan :

C_{vx} = faktor distribusi vertical

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

K = untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$ 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

Geser tingkat desain gempa di semua tingkat (V_x) (kN) harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (3-53)$$

Keterangan:

F_i adalah bagian dari geser dasar seismik (V) yang timbul di Tingkat i , dinyatakan dalam kilo newton (kN).

Geser tingkat desain gempa (V_x) (kN) harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem penahan gaya gempa di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen penahan vertikal dan diafragma