

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pembebanan Struktur

Pembebanan menurut SNI 1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain, beban adalah gaya atau aksi lain yang terjadi pada sebuah gedung baik dari bahan bangunan, barang –barang, atau penghuni yang terdapat dalam bangunan tersebut, efek lingkungan, selisih perpindahan, dan gaya kekang akibat perubahan dimensi. Beban yang akan digunakan dalam perancangan ini adalah :

1. Beban Mati (D) :

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi yang terdapat diseluruh bangunan, baik dinding, atap, lantai, plafon, tangga, partisi, atau pun komponen arsitektural dan struktural lain (SNI 1727:2013)

Beban Mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedgung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian – penyelesaian, mesin - mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung itu (PPIUG 1983)

2. Beban Hidup (L) :

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat pemakaian dan penghunian suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah dan atau beban akibat air hujan pada atap. (SNI 2847:2002, Pasal 3.8)

3. Beban Gempa (E)

Pembebanan gempa diatur dalam SNI 1727:2013. Menurut SNI tersebut, gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen

2.2 Komponen Struktur

Komponen struktur adalah sebuah komponen yang membentuk sebuah struktur bangunan, baik struktur bagian bawah maupun struktur bagian bawah, yang dimana komponen tersebut akan menjadi sebuah kesatuan yang diharapkan akan dapat menahan beban-beban yang bekerja. Komponen penyusun tersebut adalah sebagai berikut :

2.2.1 Balok

Balok adalah elemen struktur yang meneruskan beban-beban dari pelat lantai ke kolom penyangga yang vertikal. Balok merupakan di desain untuk menahan gaya yang bekerja secara transversal terhadap sumbunya sehingga mengakibatkan momen lentur dan gaya geser sepanjang bentangnya (Nawy, 1990).

Balok merupakan elemen yang paling banyak digunakan dengan pola berulang. Pada umumnya pola ini menggunakan susunan hirarki balok. Elemen pemikul beban yang merupakan permukaan bidang (misalnya, plat lantai) yang mempunyai kemampuan membentang terbatas sehingga pada umumnya ditumpu pada jarak tertentu. Analisis bentang dapat digunakan untuk menentukan ukuran balok, beban, dan material. Lain dari pada itu melihat juga kriteria seperti efisiensi, kemudahan pelaksanaan atau kriteria lain (Schodek, 1992).

2.2.2 Kolom

Kategori kolom dapat ditentukan berdasarkan panjangnya yakni kolom pendek dan panjang. Kolom pendek adalah jenis kolom yang kegagalannya berupa kegagalan material. Kolom panjang adalah jenis kolom yang kegagalannya ditentukan oleh tekuk (buckling), dengan kata lain kegagalannya karena ketidakstabilan bukan karena kekuatan (Schodek, 1992).

Kolom adalah komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil lateral terkecil melampaui 3 yang digunakan terutama untuk menumpu beban tekan aksial. (SNI 2847:2013, pasal 2.2)

2.2.3 Plat lantai

Plat lantai adalah elemen horizontal utama yang menyalurkan beban hidup maupun beban mati ke kerangka pendukung vertikal dari satu sistem struktur. Elemen-elemen tersebut dapat dibuat sehingga berkerja dalam satu arah atau dalam dua arah (Nawy, 1990).

Perencanaan tulangan pelat pada dasarnya dibagi menjadi dua macam, yaitu sistem perencanaan pelat dengan tulangan pokok satu arah atau *one way slab* dan sistem perencanaan pelat dua arah atau *two way slab*. Perbandingan antara panjang dan lebar pelat dapat menentukan desain pelat menggunakan sistem satu arah atau dua arah. Apabila perbandingan panjang dan lebar pelat tidak lebih dari dua maka, analisis pelat beton bertulang menggunakan pelat dua arah (Winter dan Nelson, 1993).

2.2.4 Fondasi

Fondasi adalah komponen yang berfungsi sebagai tempat menempatkan bangunan dan mentransfer beban dari struktur di atasnya ke tanah yang berfungsi memikul beban struktur tersebut. Dalam menentukan jenis fondasi yang akan digunakan perlu memperhatikan keadaan tanah di lapangan untuk mengetahui jenis pondasi yang tepat terhadap kondisi tanah tersebut. Beberapa jenis fondasi adalah : fondasi telapak, fondasi rakit, fondasi tiang pancang, dan fondasi gabungan yang memikul lebih dari satu kolom (Nawy, 1990).

Pondasi adalah komponen struktur terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang berada di bawahnya. Secara umum pondasi dibagi menjadi dua klasifikasi, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal diartikan sebagai pondasi yang hanya mampu menerima beban relatif kecil dan secara langsung menerima beban bangunan. Pondasi dalam diartikan sebagai pondasi yang mampu menerima beban bangunan yang besar dan meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batuan yang sangat dalam (Hardiyatmo, H.C. 2002)

2.3 Bangunan tahan gempa

Gempa memiliki kecenderungan menyebabkan gaya lateral pada struktur sebuah bangunan, desain utama dalam perancangan gedung tahan gempa adalah memastikan bahwa setiap masa (lantai, atap, dan sebagainya) mempunyai lokasi simetris satu sama lain. Gaya lateral akibat gempa, tentu saja, mempunyai sifat inersia, berkaitan langsung dengan setiap masa pada sebuah gedung, prinsip ini mempunyai implikasi yang terkait pada keseluruhan bentuk bangunan karena,

distribusi masa dan mekanisme penahan gaya lateral dipengaruhi oleh bentuk bangunan (Schodek 1992).

Menurut Pedoman Teknis Rumah dan Bangunan Gedung Tahan Gempa (2006), taraf keamanan minimum untuk bangunan gedung dan rumah tinggal yang masuk dalam kategori bangunan tahan gempa, yaitu yang memenuhi berikut ini:

- a. Bila terkena gempa bumi yang lemah, bangunan tersebut tidak mengalami kerusakan sama sekali.
- b. Bila terkena gempa bumi sedang, bangunan tersebut boleh rusak pada elemen-elemen non-struktural, tetapi tidak boleh rusak pada elemen-elemen struktural.
- c. Bila terkena gempa bumi yang sangat kuat: bangunan tersebut tidak boleh runtuh baik sebagian maupun seluruhnya; bangunan tersebut tidak boleh mengalami kerusakan yang tidak dapat diperbaiki; bangunan tersebut boleh mengalami kerusakan tetapi kerusakan yang terjadi harus dapat diperbaiki dengan cepat sehingga dapat berfungsi kembali.

2.4 Beton Bertulang

Beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerjasama dalam menahan gaya yang berkerja (SNI 03-2847:2002).

Elliza I (2013) menjelaskan prinsip-prinsip dasar yang perlu diperhatikan dalam perencanaan, perancangan dan pelaksanaan struktur bangunan beton bertulang tahan gempa yaitu :

1. Sistem struktur yang digunakan haruslah sesuai dengan tingkat kerawanan daerah dimana struktur bangunan tersebut berada terhadap gempa.
2. Aspek kontinuitas dan integritas struktur bangunan perlu diperhatikan. Dalam pendetailan penulangan dan sambungan-sambungan, unsur-unsur struktur bangunan harus terikat secara efektif menjadi satu kesatuan untuk meningkatkan struktur secara menyeluruh.
3. Konsistensi sistem struktur yang diasumsikan dalam desain dengan sistem struktur yang dilaksanakan harus terjaga.
4. Materi beton yang digunakan haruslah memiliki daya tahan yang tinggi dilingkungannya.
5. Unsur-unsur arsitektural yang memiliki masa yang besar harus terikat dengan kuat pada sistem portal utama dan harus diperhitungkan pengaruhnya terhadap sistem struktur.
6. Metode pelaksanaan, sistem quality control dan quality assurance dalam tahapan konstruksi harus dilaksanakan dengan baik dan harus sesuai dengan kaidah yang berlaku.

2.5 **Kombinasi Pembebanan**

Sesuai dengan peraturan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung dalam SNI 1726:2019, kekuatan suatu struktur perlu dihitung menggunakan kombinasi pembebanan sebagai berikut:

1. $U = 1,4 D$
2. $U = 1,2 D + 1,6 L$
3. $U = (1,2 + 0,2 SDS) D + 1,0 L + \rho Ex + 0,3 \rho Ey$

4. $U = (1,2 + 0,2 \text{ SDS}) D + 1,0 L + \rho Ex - 0,3 \rho Ey$
5. $U = (1,2 + 0,2 \text{ SDS}) D + 1,0 L - \rho Ex + 0,3 \rho Ey$
6. $U = (1,2 + 0,2 \text{ SDS}) D + 1,0 L - \rho Ex - 0,3 \rho Ey$
7. $U = (1,2 + 0,2 \text{ SDS}) D + 1,0 L + 0,3 \rho Ex + \rho Ey$
8. $U = (1,2 + 0,2 \text{ SDS}) D + 1,0 L + 0,3 \rho Ex - \rho Ey$
9. $U = (1,2 + 0,2 \text{ SDS}) D + 1,0 L - 0,3 \rho Ex + \rho Ey$
10. $U = (1,2 + 0,2 \text{ SDS}) D + 1,0 L - 0,3 \rho Ex - \rho Ey$
11. $U = (0,9 - 0,2 \text{ SDS}) D + \rho Ex + 0,3 \rho Ey$
12. $U = (0,9 - 0,2 \text{ SDS}) D + \rho Ex - 0,3 \rho Ey$
13. $U = (0,9 - 0,2 \text{ SDS}) D - \rho Ex + 0,3 \rho Ey$
14. $U = (0,9 - 0,2 \text{ SDS}) D - \rho Ex - 0,3 \rho Ey$
15. $U = (0,9 - 0,2 \text{ SDS}) D + 0,3 \rho Ex + \rho Ey$
16. $U = (0,9 - 0,2 \text{ SDS}) D + 0,3 \rho Ex - \rho Ey$
17. $U = (0,9 - 0,2 \text{ SDS}) D - 0,3 \rho Ex + \rho Ey$
18. $U = (0,9 - 0,2 \text{ SDS}) D - 0,3 \rho Ex - \rho Ey$

U = kuat perlu

D = beban mati

L = beban hidup

Ex = beban gempa arah x

Ey = beban gempa arah y

2.6 Wilayah Gempa

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 respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (3-1)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (3-2)$$

Dimana:

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.

Dengan koefisien situs F_a dan F_v mengikuti Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 Jika kelas situs SE digunakan sebagai kelas situs berdasarkan 0, maka nilai F_a tidak boleh kurang dari 1,2. Jika digunakan prosedur desain sesuai dengan pasal 0, maka nilai F_a harus ditentukan sesuai 0 serta nilai F_v , S_{MS} , dan S_{M1} tidak perlu ditentukan.

Tabel 2. 1 Klasifikasi situs F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS(a)					

(Sumber : SNI 1726 : 2019 – Tabel 6)

Tabel 2. 2 Klasifikasi Situs Fv

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, $S1$					
	$S1 \leq 0,1$	$S1 = 0,2$	$S1 = 0,3$	$S1 = 0,4$	$S1 = 0,5$	$S1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS(a)					

(Sumber : SNI 1726:2019 - Tabel 7)

2.7 Perancangan Beban Gempa

Gempa bumi dapat terjadi akibat dari fenomena getaran dengan kejutan dikerak bumi, faktor utama terjadinya gempa bumi saat terjadi benturan dan pergeseran kerak bumi yang berdampak pada permukaan bumi. Gempa bumi menjalar berbentuk gelombang. Gelombang tersebut memiliki energi sehingga terjadinya getaran dipermukaan bumi serta bangunan di atasnya. Getaran tersebut menyebabkan gaya-gaya terjadi pada struktur bangunan karena struktur mempertahankan kedudukannya dari getaran, Schodek (1999).

2.7.1 S_{DS} dan S_{D1}

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

http://puskim.pu.go.id//Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/

2.7.2 Kategori Risiko

Kategori risiko untuk bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 3 SNI 1726:2019, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan faktor keutamaan I_e menurut Tabel 3 SNI 1726:2019

Tabel 2. 3 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung

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 : – Fasilitas pertanian, perkebunan, 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: – Perumahan – Rumah toko dan rumah kantor – Pasar – Gedung perkantoran – Gedung apartemen/ rumah susun – Pusat perbelanjaan/ mall – Bangunan industri – Fasilitas manufaktur	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: – Bioskop – Gedung pertemuan	III
– Stadion – Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat – Fasilitas penitipan anak	
– Penjara – Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, 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: – Pusat pembangkit listrik biasa	III

Tabel 2. 3 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung (lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
– Fasilitas penanganan air – Fasilitas penanganan limbah – Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung 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.	
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: – Bangunan-bangunan monumental – Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan – Rumah ibadah – 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, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya – Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat – 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 Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

(Sumber : Tabel 3 SNI 1726:2019)

2.7.3 Kategori desain sesmik

Kategori Sistem Sismik berdasarkan parameter percepatan respon spektral pada periode pendek sebagai berikut :

Tabel 2. 4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan SDS

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

(Sumber : Tabel 6-SNI 1726:2019)

Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik sebagai berikut:

Tabel 2. 5 Kategori Desain Sismik Berdasarkan SD1

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: Tabel 8-SNI 1726:2019)

2.7.4 Faktor keamanan I_e

Faktor keamanan berdasarkan kategori risiko sebagai berikut :

Tabel 2. 6 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: Tabel 4 SNI 1726:2019)

2.7.5 Klasifikasi siklus

Sesuai SNI 1726;2019, berikut merupakan definisi untuk menentukan tipe klasifikasi situs.

Tabel 2. 7 Klasifikasi situs

Kelas Situs	V_s (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (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, 20, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralinir $S_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs)	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		

(Sumber : SNI 1726-2019 Tabel 3 klasifikasi situs)

2.7.6 Periode fundamental

Periode fundamental pendekatan T_a , dalam detik, didapatkan dari persamaan berikut.

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

h_n = ketinggian struktur, dalam (m), di atas sampai tingkat tinggi struktur, dan koefisien C_t , dan x di tentukan dari tabel berikut.

Tabel 2. 8 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber: Tabel 18 SNI 1726:2019)

Nilai koefisien C_u diambil sebagai berikut:

Tabel 2. 9 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $SD1$	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: Tabel 17 SNI 1726:2019)

Syarat nilai T yang akan digunakan sebagai periode fundamental sebagai berikut:

1. $T_{comp} > T_{a maks}$, maka digunakan $T_{a maks}$
2. $T_a < T_{comp} < T_{a maks}$, maka digunakan T_{comp}
3. $T_{comp} < T_a$, maka digunakan T_a

2.7.7 Koefisien respon seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1, koefisien respon seismik harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} \quad (3-4)$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai persamaan (3-67) tidak boleh melebihi persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T R/I_e} \quad (3-5)$$

Nilai C_s tidak boleh kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3-6)$$

Untuk struktur didaerah dimana S_1 sama dengan atau lebih dari 0,6g, maka C_s tidak boleh kurang dari:

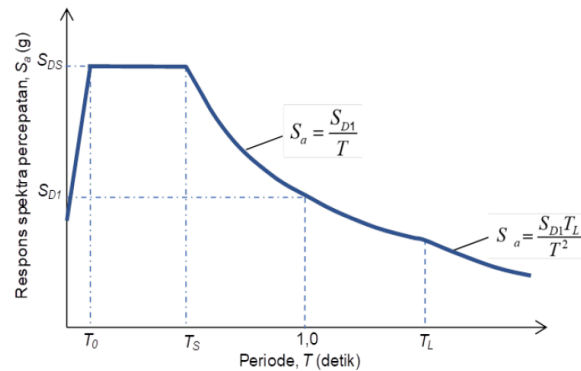
$$C_s = \frac{0,5S_1}{R/I_e} \quad (3-7)$$

Dimana:

- C_s = koefisien respon seismik
- R = faktor modifikasi respons dalam Tabel 9 SNI 1726:2019
- I_e = faktor keutamaan gempa dalam Tabel 3.8
- T = periode fundamental struktur (detik)

2.7.8 Faktor respon gempa

Kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada gambar berikut:



Gambar 2. 1 Spektrum Respon Desain

(Sumber : gambar 3 - Spektrum respon desain SNI 1726:2019)

2.7.9 Distribusi beban gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.3 beban lateral gempa yang timbul disemua tingkat dapat ditentukan dengan persamaan:

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (3-8)$$

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k} \quad (3-9)$$

$$k = 0,5T + 0,75 \quad (3-10)$$

Dimana:

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 dan x , dinyatakan dalam meter

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

Jika $T \leq 0,5$ detik, maka $k = 1$

Jika $T \geq 2,5$ detik, maka $k = 2$

Jika $0,5 > T > 2,5$, maka nilai k di tentukan dengan interpolasi dengan linier antara 1 dan 2

2.8 Faktor Reduksi Kekuatan

Faktor reduksi kekuatan berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 21 yaitu:

1. Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 21.2.1, Faktor reduksi kekuatan untuk komponen beton struktural dan sambungan harus sesuai dengan tabel 3.10, kecuali yang termodifikasi pada poin (2), (3), dan (4).

Tabel 2. 10 Faktor reduksi kekuatan ϕ

No.	Keterangan	ϕ
1.	Geser dan torsi.	0,75
2.	Tumpuan.	0,65
3.	Zona angkur pascatarik.	0,85
4.	<i>Bracket</i> dan korbél	0,75
5.	<i>Strut, ties</i> , zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan <i>strutand-tie</i> .	0,75
6.	Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik.	0,90
7.	Beton polos.	0,60
8.	Angkur dalam elemen beton.	0,45 – 0,75

2. Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 21.2.2, Faktor reduksi kekuatan untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial harus sesuai tabel 3.2.

Tabel 2. 11 Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial

Regangan tarik netto (ϵ_t)	Klasifikasi	ϕ	
		Jenis tulangan transversal	
		Tulangan spiral	Tulangan lainnya
$\epsilon_t \leq \epsilon_{ty}$	Terkendali tekan	0,75	0,65
$\epsilon_t < \epsilon_{ty} < 0,005$	Transisi*	$0,75 + 0,15 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0,005 - \epsilon_{ty})}$	$0,65 + 0,25 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0,005 - \epsilon_{ty})}$
$\epsilon_t \geq 0,005$	Terkendali tarik	0,90	0,90

* untuk penampang transisi, diperbolehkan memakai nilai faktor reduksi sama dengan penampang terkendali tekan

(sumber: Tabel 21.2.2 – SNI 2847:2019, hal 47)

3. Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 21.2.3, faktor reduksi untuk penampang pada komponen prategang dimana *strand* belum bekerja, maka nilai ϕ dihitung berdasarkan tabel 3.2.

Tabel 2. 12 Faktor reduksi kekuatan ϕ untuk seksi akhir dari prategang

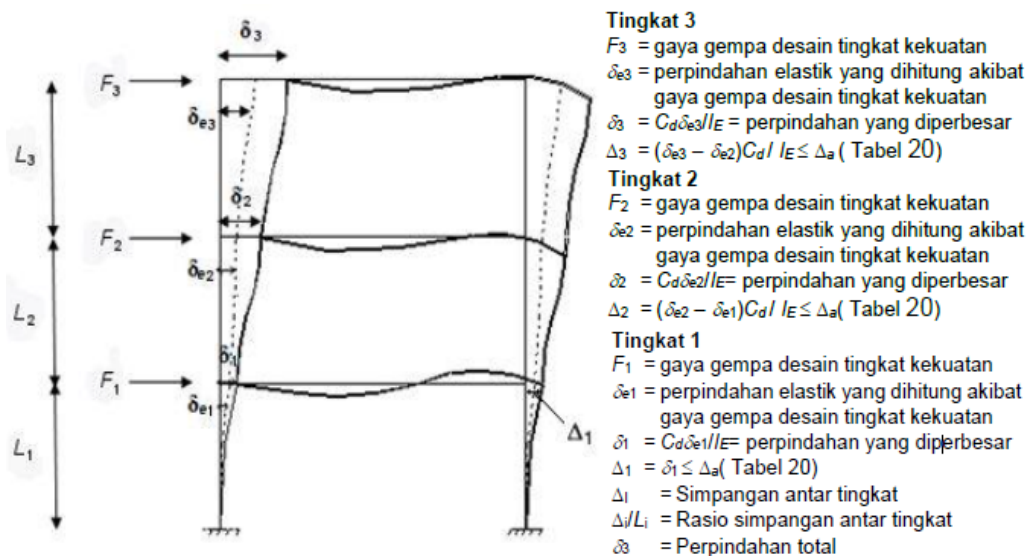
Kondisi didekat ujung komponen	Tegangan beton akibat beban layan*	Jarak dari ujung komponen ke penampang yang ditinjau	ϕ
Semua <i>strand</i> terlekat	Tidak berlaku	$\leq l_{tr}$	0,75
		l_{tr} hingga l_d	Interpolasi linear dari 0,75 ke 0,90 [#]
Satu atau lebih <i>strand</i> tanpa lekatan	Tarik tidak terhitung	$\leq (l_{db} + l_{tr})$	0,75
		$(l_{db} + l_{tr})$ hingga $(l_{db} + l_d)$	Interpolasi linear dari 0,75 ke 0,90 [#]
	Tarik terhitung	$\leq (l_{db} + l_{tr})$	0,75
		$(l_{db} + l_{tr})$ hingga $(l_{db} + 2l_d)$	Interpolasi linear dari 0,75 ke 0,90 [#]

4. Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 21.2.4, faktor reduksi untuk gaya geser struktur yang bergantung pada sistem rangka pemikul momen khusus, dinding struktural khusus, dan dinding struktural pracetak menengah yang memenuhi persyaratan kategori desain seismik D, E, atau F, harus dimodifikasi sebagai berikut:

- Untuk komponen yang didesain dapat menahan gaya gempa, jika kekuatan nominal penampang lebih kecil dari kekuatan nominal beton, maka nilai faktor reduksi geser sebesar 0,60.
- Untuk diafragma, nilai faktor reduksi geser tidak boleh melebihi nilai faktor reduksi minimum yang digunakan untuk komponen vertikal dalam sistem struktur tahan gempa.
- Untuk sambungan balok-kolom dan balok-kopel dengan tulangan diagonal, maka nilai faktor reduksi sebesar 0,85.

2.9 Penentuan Simpang Antar Tingkat

Penentuan simpang antar tingkat design (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpang pada pusat masa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau Gambar 2.2. Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangandi dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan, Δ harus dihitung menggunakan gaya sesmik desain yang ditetapkan dalam 0 tanpa reduksi untuk desain tegangan izin (SNI-1726 : 2019 pasal 7.8.6)



Gambar 2. 2 Simpang Antar Tingkat

2.10 Batasan Simpang Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat desain (Δ) seperti ditentukan dalam 0 atau 0, tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) seperti didapatkan dalam Tabel untuk semua tingkat (SNI 1726 2019 pasal 7.12)

Tabel 2. 13 Simpangan Antar Tingkat

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{s,x}^c$	$0,020h_{s,x}$	$0,015h_{s,x}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{s,x}$	$0,010h_{s,x}$	$0,010h_{s,x}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{s,x}$	$0,007h_{s,x}$	$0,007h_{s,x}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{s,x}$	$0,015h_{s,x}$	$0,010h_{s,x}$

(Sumber : Tabel 20 SNI 1726 : 2019)

Catatan :

^a h_{sx} adalah tinggi tingkat dibawah tingkat-x

^b adalah Untuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar tingkat izin harus sesuai dengan persyaratan 0

^c Tidak boleh ada batasan simpangan antar tingkat untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dalam 0 tidak diabaikan.

^d Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen di antara dinding geser (kopel) dapat diabaikan.

2.11 Perencanaan Pelat

Pelat dibagi menjadi dua jenis yaitu pelat satu arah (*one way slab*) dan pelat dua arah (*two way slab*).

2.11.1 Pelat satu arah

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.3.1.1, pelat satu arah adalah pelat dengan nilai perbandingan antara sisi terpanjang pelat terhadap sisi terpendek pelat yang lebih besar dari 2. ketebalan minimum pelat solid non-prategang dapat dilihat pada tabel 3.13.

Tabel 2. 14 Tabel minimum ketebalan pelat satu arah

Kondisi tumpuan	h^* minimum
Tumpuan sederhana	$l / 20$
Satu ujung menerus	$l / 24$
Kedua ujung menerus	$l / 28$
Kantilever	$l / 10$
* berlaku untuk beton normal dan $f_y = 420$ Mpa	

(sumber: Tabel 7.3.1.1 – SNI 2847:2019, hal 120)

Tambahan :

- Untuk f_y lebih dari 420 Mpa, maka persamaan pada tabel 3.13, harus dikalikan dengan **$(0,4 + f_y / 700)$** .
- Untuk pelat non-prategang yang terbuat dari beton ringan dengan w_c berkisar antara 1440 hingga 1840 kg/m³, makah persamaan pada tabel 3.13, harus dikalikan dengan nilai terbesar dari:
 - a) $1,65 - 0,0003w_c$
 - b) 1,09

2.11.2 Pelat dua arah

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 8.3.1.1, Pelat dua arah adalah pelat dengan nilai perbandingan antara sisi terpanjang pelat terhadap sisi terpendek pelat yang lebih kecil atau sama dengan 2, ketebalan minimum pelat solid non-prategang dapat dilihat pada tabel 3.14 dan tebal pelat tidak boleh kurang dari 125 mm (jika tidak menggunakan *drop panel*) atau 100 mm (jika menggunakan *drop panel*).

Tabel 2. 15 Ketebalan minimum pelat dua arah non-prategang

f_y Mpa [†]	Tanpa <i>drop</i> panel [‡]			Dengan <i>drop</i> panel [‡]		
	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	$l_n / 28$	$l_n / 31$	$l_n / 31$	$l_n / 31$	$l_n / 34$	$l_n / 34$
* Untuk konstruksi dua arah, l_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur 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. [‡] Panel drop didefinisikan dalam SNI 2847:2013 pasal 13.2.5. [§] Pelat dengan balok di antara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai α_f untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.						

(sumber: Tabel 8.3.1.1 – SNI 2847:2019, hal 133)

2.11.3 Perancangan pelat

Berikut merupakan tahapan perancangan pelat:

1. Menghitung pembebanan pelat berdasarkan SNI 1727:2013.
2. Menentukan momen pada pelat dengan menggunakan tabel PBI 1971.
3. Menentukan tebal minimum pelat berdasarkan tabel 3.13 dan 3.14
4. Menghitung rasio penulangan pelat dengan menggunakan rumus

berikut:

$$k = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (3-11)$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot k}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \quad (3-12)$$

$$\rho_{max} = 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \quad (3-13)$$

Keterangan:

R_n = Koefisien tahanan

ρ = rasio penulangan

A_s = luas tulangan tarik

b = lebar (1 meter)

d = jarak dari serat tekan terjauh ke pusang tulangan tarik

f_y = kuat leleh baja tulangan

5. Menentukan spasi antar tulangan dengan menggunakan rumus:

$$S = \frac{b \cdot n \cdot A_{s1tul}}{A_{s\text{ perlu}}} \quad (3-14)$$

2.12 Perencanaan Balok

2.12.1 Estimasi balok

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.3.1.1, dimana tinggi balok dapat ditentukan sesuai dengan tabel sebagai berikut :

Tabel 2. 16 Tinggi minimum balok non-prategang

Kondisi tumpuan	h^* minimum
Tumpuan sederhana	$l / 16$
Satu ujung menerus	$l / 18,5$
Kedua ujung menerus	$l / 21$
Kantilever	$l / 8$
Keterangan: * berlaku untuk beton normal dan $f_y = 420$ Mpa • Untuk f_y lebih dari 420 Mpa, maka persamaan pada tabel 3.13, harus dikalikan dengan (0,4 + $f_y / 700$) .	

(sumber: Tabel 9.3.1.1 – SNI 2847:2019)

Tinggi balok ditentukan dengan persamaan berikut:

$$h = \frac{1}{10} L \text{ sampai } \frac{1}{16} L \quad (3-15)$$

2.12.2 Tulangan longitudinal balok

Tulangan lentur dirancang terhadap momen lentur akibat beban terfaktor (M_u). Nilai momen lentur akibat beban terfaktor diperoleh dari *output* alat bantu program komputer.

1. Menghitung rasio penulangan balok dengan menggunakan rumus berikut:

$$k = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (3-16)$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot k}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \quad (3-17)$$

2. Pemeriksaan syarat rasio tulangan terhadap syarat rasio tulangan maksimum :

$$\rho_{max} = 0,025$$

Apabila $\rho \leq \rho_{max}$, maka balok dirancang sebagai balok tulangan tunggal.

Apabila $\rho > \rho_{max}$, maka balok dirancang sebagai balok tulangan rangkap.

3. Menghitung luas tulangan yang dibutuhkan untuk komponen struktur lentur dapat menggunakan persamaan berikut:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (3-18)$$

4. Menghitung luas tulangan minimum balok dengan memilih yang terbesar dari persamaan berikut:

$$A_{s \min} = \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \text{ atau } \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_c'}}{f_y} \cdot b \cdot d \quad (3-19)$$

A_s yang dipakai adalah nilai terbesar antara $A_{s \min}$ dan A_s .

5. Dengan nilai A_s yang telah didapatkan, kemudian digunakan untuk menghitung jumlah tulangan.

$$n = \frac{A_{s\text{ perlu}}}{A_{s\text{ tul}}} \quad (3-20)$$

6. Periksa $\phi M_n > M_u$

$$a = \frac{A_{s\text{ aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \quad (3-21)$$

$$M_n = A_{s\text{ aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3-22)$$

2.12.3 Tulangan transversal balok

Berdasarkan penjelasan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi persamaan berikut :

$$\phi V_n > V_u \quad (3-23)$$

Nilai V_u diperoleh dari *output* alat bantu program komputer.

Dimana:

Φ = faktor reduksi kekuatan

V_n = kuat geser nominal

V_u = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

1. Menentukan kuat geser nominal beton dapat

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d ; \text{ dimana } \lambda = 1 \quad (3-24)$$

2. Menentukan kuat geser nominal tulangan geser dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3-25)$$

$$V_s < \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \quad (3-26)$$

3. Menentukan spasi antar tulangan geser dapat digunakan persamaan berikut :

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \quad (3-27)$$

4. Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.7.6.2.2, spasi maksimum tulangan geser harus sesuai dengan tabel 3.16.

Tabel 2. 17 Spasi Maksimum Tulangan Geser

V_s	Maksimum s, mm		
		Balok non-prategang	Balok Prategang
$\leq 0,66\sqrt{f'_c} b_w \cdot d$	Terkecil dari :	d/2	3h/4
		600	
$> 0,66\sqrt{f'_c} b_w \cdot d$	Terkecil dari :	d/4	3h/8
		300	

2.13 Perencanaan Kolom

2.13.1 Kelangsingan kolom

Menurut SNI 2847:2019 pasal 6.2.5, pengaruh kelangsingan kolom dapat diabaikan dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Untuk kolom yang tidak ditahan terhadap goyangan samping:

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 22 \quad (3-28)$$

2. Untuk kolom yang tidak ditahan terhadap goyangan samping.

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \quad (3-29)$$

Dimana:

k = faktor panjang efektif untuk komponen struktur

l_u = panjang tak tertumpu komponen struktur tekan

M_1 = momen ujung terfaktor terkecil pada komponen struktur tekan

M_2 = momen ujung terfaktor terbesar pada komponen struktur tekan

2.13.2 Kolom kuat balok lemah

Kolom kuat balok lemah harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$\Sigma M_{nc} \geq (1,2) \Sigma M_{nb} \quad (3-30)$$

Dimana :

M_{nc} =Kuat lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint.

M_{nb} = Kuat lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint.

2.13.3 Tulangan transversal kolom

Desain penampang yang dikenai geser harus didasarkan pada:

$$\phi V_n \geq V_u$$

dimana V_u adalah gaya geser akibat beban terfaktor yang diperoleh dari output ETABS dan V_n adalah kuat geser nominal.

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.2.1.2, dijelaskan bahwa kuat geser untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g} \right) \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \quad (3-31)$$

2.14 Perancangan Fondasi

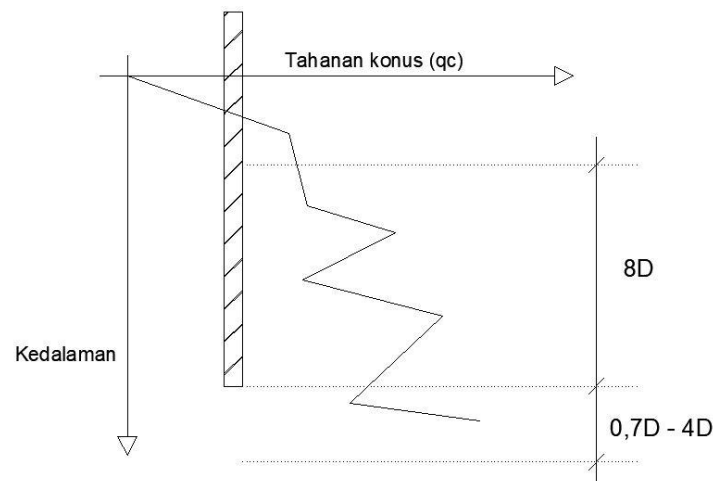
2.14.1 Daya dukung borpile

Perhitungan daya dukung tiang dapat dilakukan dengan berbagai metode.

Salah satu metode yang dapat digunakan metode *Schmertmann dan Nottingham*

(1975). Dengan metode ini, daya dukung tiang dihitung berdasarkan tahanan ujung dan tahanan selimutnya.

Daya dukung ujung tiang (Q_b) diambil dari nilai rerata perlawanan konus (q_c), $8D$ (D : diameter/lebar tiang) diatas ujung tiang dan $0,7D$ s.d. $4D$ dibawah ujung tiang.



Gambar 2. 3 Daya Dukung Tanah

Analisis Daya Dukung Ujung Tiang (Sumber: Schmertmann Method (CPT), 1978)

Tahanan ujung taiang (Q_b) :

$$q_{ca} = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2} \quad (3-32)$$

Dimana:

q_{ca} = tahanan ujung sondir

q_{c1} = nilai rerata q_c dari $0,7D$ s.d. $4D$ dibawah ujung tiang

q_{c2} = nilai rerata q_c $8D$ diatas ujung tiang

Tahanan gesek taiang (Q_s) :

$$Q_s = A_s \cdot f_s \quad (3-33)$$

Dimana:

Q_s = tahanan gesek tiang

A_s = keliling tiang
 f_s = tahanan gesek satuan

Beberapa peneliti menyarakna faktor aman yang tidak sama untuk daya dukung ujung dan dan tahanan gesek dinding, kapasitas ijin dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$Q_a = \frac{Q_b + Q_s}{2,5}. \quad (3-34)$$

Dimana:

Q_a = kapasitas daya dukung
 Q_s = tahanan gesek dinging tiang
 Q_b = tahanan ujung tiang
 2,5 = faktor aman untuk tiang

2.14.2 Kelompok tiang

Jumlah tiang tang di butuhkan menggunakan presamaan sebagai berikut :

$$n = \frac{P_u}{P_{1tiang}} \quad (3-35)$$

Menutut Sardjono (1988), untuk jarak antar tinang borple menggunakan persaamaan sebagai berikut :

a) Jarak antar tiang

$$S \rightarrow 2,5 D \leq S \leq 3,0 D$$

b) Jarak tiang ke tepi

$$S' \rightarrow 1,25D \leq S \leq 1,5D$$

Dimana :

n = jumlah kebutuhan tiang
 P_u = gaya normal
 D = diameter tiang

Evisiensi kelompok tiang dapat dihitung dengan menggunakan rumus Converse Labarre dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = 1 - \frac{\theta}{90} \left(\frac{(a-1) \cdot b + (b-1) \cdot a}{a \cdot b} \right) \quad (3-36)$$

Dimana :

- θ = arc tan (D/s)
- a = jumlah tiang pada 1 baris
- b = jumlah tiang pada 1 kolom
- s = jarak antar tiang
- D = diameter borpile

2.14.3 Reaksi kontrol tiang

Kontrol reaksi yang terjadi pada tiang borpile dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_{maks} = \frac{P_u}{n} + \frac{M_{uy} \cdot x}{\sum x^2} + \frac{M_{ux} \cdot y}{\sum y^2} \leq P_{1tiang} \quad (3-37)$$

Dimana:

- P_{maks} = beban maksimum yang diterima tiang.
- n = jumlah tiang pada satu *pile cap*.
- P_u = total beban normal.
- M_x = momen yang bekerja pada tiang tegak lurus sumbu x.
- M_y = momen yang bekerja pada tiang tegak lurus sumbu y.
- X = absis tiang terhadap titik berat kelompok tiang.
- Y = ordinat tiang terhadap titik berat kelompok tiang.
- $\sum x^2$ = jumlah kuadrat absis tiang.
- $\sum y^2$ = jumlah kuadrat ordinat tiang.

2.14.4 Geser satu arah

Gaya geser satu arah adalah gaya yang terjadi hanya pada stu sisi *pile cap* dimana gaya tersebut diperhitungkan terhadap daya dukung tiang disatu sisi, persamaan yang digunakan dalam menghitung geser satu arah adalah sebagi berikut :

$$V_u < \phi V_n \quad (3-38)$$

$$V_u = m \cdot (P_{max}) \quad (3-39)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (3-40)$$

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \quad (3-41)$$

Dimana:

V_u = gaya geser terfaktor penampang.

V_n = kekuatan geser nominal.

V_c = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton.

P_{max} = beban maksimal 1 tiang.

b_o = keliling area kristis.

m = jumlah tiang dalam area kristis.

b = lebar *pile cap*.

d = tinggi efektif *pile cap*.

β = rasio dimensi panjang.

ϕ = factor reduksi.

2.14.5 Geser dua arah

Persamaan yang digunakan dalam menghitung geser dua arah adalah gaya yang diambil dari persamaan rums V_c dibawah dimana dari persamaan tersebut digunakan nilai yang terbesar dari persamaan berikut :

$$V_{c1} = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \quad (3-42)$$

$$V_{c2} = 0,083 \cdot \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \quad (3-43)$$

$$V_{c3} = 0,333 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \quad (3-44)$$

Dari persamaan berikut diperhitungkan pula gaya geser dua arah yang terjadi akibat kolom, dimana persamaan tersebut adalah sebagai berikut :

$$V_U < \phi V_n \quad (3-45)$$

$$V_U = q_u \cdot A_0 \quad (3-46)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (3-47)$$

$$\beta = \frac{b_c}{h_c} \quad (3-48)$$

Dimana:

V_u = gaya geser penampang.

V_n = kekuatan geser nominal.

V_c = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton.

P_u = gaya normal.

b_o = keliling area kritis.

A = luas area kritis.

L = lebar *pile cap*.

d = tinggi efektif *pile cap*.

β = rasio dimensi panjang.

ϕ = factor reduksi.