

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Analisis Pembebanan

Pembebanan yang digunakan dalam perhitungan perancangan adalah kombinasi dari beban hidup, beban mati, dan beban gempa.

3.1.1 Kuat perlu

Beban yang digunakan sesuai dalam tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (SNI 2847-2013) dan tata cara perencanaan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 1726-2012). Kombinasi kuat perlu yang digunakan adalah:

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

$$2. \quad U = 1,2 D + 1,6 L \quad (3-2)$$

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

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

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

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

$$7. \quad U = (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3-7)$$

$$8. \quad U = (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3-8)$$

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

$$10. \quad U = (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3-10)$$

$$11. \quad U = (0,9 + 0,2 S_{DS}) D + \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3-11)$$

$$12. \quad U = (0,9 + 0,2 S_{DS}) D + \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3-12)$$

$$13. U = (0,9 + 0,2 S_{DS}) D - \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3-13)$$

$$14. U = (0,9 + 0,2 S_{DS}) D - \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3-14)$$

$$15. U = (0,9 + 0,2 S_{DS}) D + 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3-15)$$

$$16. U = (0,9 + 0,2 S_{DS}) D - 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3-16)$$

$$17. U = (0,9 + 0,2 S_{DS}) D + 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3-17)$$

$$18. U = (0,9 + 0,2 S_{DS}) D - 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3-18)$$

Keterangan :

U = kuat perlu

D = beban mati (*dead load*)

L = beban hidup (*live load*)

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

ρ = faktor redundansi

E_x = beban gempa arah horizontal

E_y = beban gempa arah vertikal

Pengecualian :

Faktor beban untuk L pada kombinasi 3 sampai dengan 10 boleh diambil sama dengan 0,5 kecuali untuk garasi, ruangan pertemuan, dan semua ruangan yang nilai beban hidupnya lebih besar daripada 500 kg/m^2

3.1.2 Kuat rencana

Sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 9.3, kekuatan rencana suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi standar, yang dikalikan faktor reduksi kekuatan ϕ . Nilai ϕ yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Faktor Reduksi Kekuatan

No.	Keterangan	ϕ
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 dan pengikat, strat, pengikat, daerah pertemuan, dan daerah tumpuan dalam model	0,75
7.	Penampang lentur komponen struktur pra tarik	
	a. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer	0,75
	b. Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran ϕ boleh ditingkatkan secara linier dari	0,75 sampai 0,9

3.2 Perencanaan Struktur

Struktur yang akan dirancang meliputi pelat, balok, kolom, dinding geser, dan tangga.

3.2.1 Perencanaan pelat

Pelat dibedakan menjadi dua yaitu pelat satu arah dan dua arah. Pelat satu arah adalah pelat dengan tulangan pokok satu arah, akan dijumpai jika pelat beton lebih dominan menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang satu arah saja. Contoh pelat satu arah adalah pada pelat kantilever dan pelat yang ditumpu oleh dua tumpuan. Kelebihan pelat satu arah dibanding dengan pelat dua arah adalah kemudahan kontrol dilapangan untuk pelat satu arah karena dapat terlihat tulangan utama pada bentang pendek dan tulangan susut pada bentang panjang. Berikut adalah beberapa perbedaan dari pelat satu arah dan dua arah:

1. Pelat satu arah (pelat yang didukung pada kedua tepi berhadapan):
 - a. Pelat dianggap lebar 1 meter dan dapat dianggap sebagai balok dengan lebar 1 meter.
 - b. Tulangan utama pelat dipasang menerus sampai kedua tumpuan.
 - c. Tulangan susut dan suhu dipasang tegak lurus tulangan utama/pokok
 - d. Gaya geser terfaktor didukung kuat betonnya saja.
2. Pelat dua arah (pelat yang didukung pada keempat tepinya):
 - a. Arah sisi pendek diberi notasi l_x dan arah panjang diberi notasi l_y .
 - b. Tulangan utama/pokok dipasang pada arah l_x maupun l_y , masing-masing menerus sampai ke tumpuan.
 - c. Gaya geser terfaktor didukung kuat betonnya saja.
 - d. Khusus untuk pelat dua arah hitungan dapat disederhanakan sbb:

Bila $\frac{l_y}{l_x} < 2$ menggunakan tabel,

Bila $\frac{l_y}{l_x} \geq 2$, terdapat 2 macam cara hitungan, yaitu:

- Sebagai struktur pelat 2 arah.
- Dianggap sebagai struktur pelat satu arah dengan lenturan utama pada arah sisi yang terpendek.

3.2.1.1 Pelat satu arah

Untuk menghitung momen terfaktor dan kebutuhan tulangan untuk pelat satu arah, dapat menggunakan rumus atau dengan analisis tampang.

1. Menghitung momen nominal dengan analisis tampang

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (3-19)$$

maka

$$M_n = C_c \cdot z = T_s \cdot Z \quad (3-20)$$

$$M_n = C_c \cdot z = a \cdot b \cdot 0,85 \cdot f'c \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3-21)$$

$$M_n = T_s \cdot Z = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3-22)$$

2. Menghitung kebutuhan tulangan

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (3-23)$$

Maka tahanan momennya adalah:

$$R_n = \frac{M_u}{b \cdot d^2} = \frac{M_n}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (3-24)$$

Nilai rasio penulangan (ρ) adalah

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'c}} \right) \quad (3-25)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (3-26)$$

keterangan:

M_n	= momen nominal (Nmm)
M_u	= momen terfaktor (Nmm)
C_c	= gaya tekan beton (N)
T_s	= gaya tarik baja tulangan (N)
Z	= lengan momen, jarak antara pusat gaya tarik dan pusat gaya tekan yang membentuk kopel. (mm)
d	= jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)

a	= tinggi blok tegangan persegi ekuivalen (mm)
R_n	= tahanan momen
ϕ	= faktor reduksi kekuatan
ρ	= rasio penulangan
f_y	= kekuatan leleh tulangan (MPa)
f'_c	= kekuatan tekan beton (MPa)

Persyaratan tebal minimum plat menurut SNI 2847-2013 pasal 9.5.2 tabel 9.5(a), adalah seperti pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Tebal Minimum Pelat Satu Arah

Komponen Struktur	Tebal minimum (h)			
	Dua tumpuan sederhana	Satu ujung menerus	Dua ujung menerus	Kantilever
Pelat masif satu arah	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$

keterangan :

- Panjang bentang dalam mm.
- Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk $f_y \neq 420$ MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$

3.2.1.2 Pelat dua arah

Ada beberapa jenis pelat dua arah, diantaranya pelat datar, lantai datar, pelat *waffle*, dan sistem pelat dengan balok.

- Perhitungan tebal minimum pelat

Berdasarkan pasal 9.5.3.2 dan pasal 9.5.3.3 SNI 2847-2013, ketebalan pelat dua arah harus memenuhi syarat:

- Untuk nilai $\alpha_{fm} \leq 0,2$ menggunakan tabel 3.3

Tabel 3.3 Tebal Minimum Pelat Dua Arah

Tegangan leleh f_y (MPa)	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	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

keterangan:

l_n = panjang bentang bersih dalam arah panjang untuk nilai f_y yang besarnya diantara nilai dalam tabel, maka tebal minimum diinterpolasi linier.

- b. Untuk nilai $0,2 < \alpha_{fm} \leq 2$, maka tebal minimum pelat tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (3-27)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm.

- c. Untuk nilai $\alpha_{fm} > 2$, tebal minimum pelat tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (3-28)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

keterangan:

- α = Rasio kekuatan lentur penampang balok terhadap kekuatan lentur pelat
 α_{fm} = Rata-rata nilai α untuk semua balok pada tepi panel
 β = Rasio dimensi panjang terhadap pendek
 l_n = Panjang bentang bersih (mm)

2. Metode desain

Untuk menghitung momen terfaktor untuk pelat yang dijepit pada keempat sisinya dapat menggunakan tabel 3.4.

Tabel 3.4 Momen Terfaktor pada Pelat Dua Arah

Momen		l_y/l_x							
		1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0
M_{lx}	$0,001 W_u \ell_x^2$	25	34	42	49	53	58	62	65
M_{ly}	$0,001 W_u \ell_x^2$	25	22	18	15	15	15	14	14
M_{tx}	$-0,001 W_u \ell_x^2$	51	63	72	78	81	82	83	83
M_{ty}	$-0,001 W_u \ell_x^2$	51	54	55	54	54	53	51	49

(Gideon, 1993)

3. Syarat kebutuhan tulangan

- Tulangan $f_y = 280$ MPa, $A_s \text{ min} = 0,0020 \cdot b \cdot h$
- Tulangan $f_y = 420$ MPa, $A_s \text{ min} = 0,0018 \cdot b \cdot h$
- Tulangan $f_y > 420$ MPa, $A_s \text{ min} = 0,0018 (420/f_y) \cdot b \cdot h$

4. Syarat spasi tulangan utama dan tulangan susut

- Tulangan utama/pokok, spasi dipilih nilai yang paling kecil dari syarat:

$$s \leq 3h \text{ (} h = \text{tebal pelat)}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

- Tulangan susut dan suhu, spasi dipilih nilai yang terkecil dari syarat:

$$s \leq 5h \text{ (} h = \text{tebal pelat)}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

3.2.2 Perencanaan balok

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam perencanaan balok adalah:

1. Menghitung dimensi dan momen balok

Dimensi balok yang umumnya digunakan di lapangan:

$$h = \frac{1}{10}L - \frac{1}{15}L \quad (3-29)$$

$$b = \frac{1}{2}h - \frac{2}{3}h \quad (3-30)$$

keterangan:

h = tinggi balok

b = lebar balok

L = panjang bentang terpanjang

2. Perhitungan tulangan longitudinal balok

Pada estimasi tulangan balok, M_u baru yang telah didapat dari perhitungan sebelumnya digunakan untuk menghitung R_n perlu. Perencanaan tulangan lentur nilai momen lentur akibat beban terfaktor (M_u) diperoleh dari hasil analisa struktur dengan bantuan program. Koefisien tahanan didefinisikan dengan persamaan:

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (3-31)$$

Luas tulangan yang dibutuhkan pada komponen struktur lentur adalah:

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d \quad (3-32)$$

ρ diambil nilai terbesar antara ρ_{perlu} dan ρ_{min}

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'c}} \right) \quad (3-33)$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'c}}{4f_y} \text{ atau } \frac{1,4}{f_y} \quad (3-34)$$

As yang telah diperoleh digunakan untuk menghitung jumlah tulangan dengan pembulatan ke atas, maka jumlah tulangan = A_s / luas satu buah tulangan. Kemudian periksa syarat $\phi M_n \geq M_u$

$$\phi M_n = \phi A_s \cdot f_y \left(d - 0,59 \frac{A_s \cdot f_y}{f'c \cdot b_w} \right) \quad (3-35)$$

Luas tulangan maksimum pada komponen struktur lentur adalah:

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,025 \\ A_{s \max} &= \rho_{\max} \cdot b \cdot d \end{aligned} \quad (3-36)$$

Cek luas kebutuhan :

$$A_{s \min} \leq A_{s \text{ perlu}} \leq A_{s \max}$$

3. Perhitungan tulangan geser

Menurut SNI 2847-2013 pasal 11.1.1, perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi persamaan:

$$\phi V_n > V_u \quad (3-37)$$

keterangan:

ϕ = faktor reduksi kekuatan

V_n = kuat geser nominal = $V_c + V_s$

V_u = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

Kuat geser nominal untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja dapat dihitung dengan rumus yang terdapat dalam SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.1 :

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \quad (3-38)$$

Pemasangan tulangan geser diperlukan jika:

$$\frac{V_u}{\phi} \geq V_n \quad (3-39)$$

Jika pemasangan tulangan geser diperlukan, kuat geser nominal yang harus ditahan oleh tulangan geser dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3-40)$$

Dan tidak boleh lebih besar dari $0,66\sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d$

Batasan spasi maksimum tulangan geser menurut SNI 2847-2013, pasal 11.4.5 adalah:

1. Spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur tidak boleh melebihi $d/2$ pada komponen struktur non prategang dan $0,75 h$ pada komponen struktur prategang, ataupun 600 mm.
2. Senggang miring dan tulangan longitudinal yang dibengkokkan harus dipasang dengan spasi sedemikian hingga setiap garis 45 derajat, menerus ke arah reaksi dari tengah tinggi komponen struktur $d/2$ ke tulangan tarik longitudinal, harus disilang oleh paling sedikit satu garis tulangan geser.
3. bila V_s melebihi $0,33\sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d$, maka spasi maksimum seperti yang terdapat pada point 1 dan 2 harus dikurangi setengahnya.

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.2, senggang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur. Spasi senggang tertutup tidak boleh lebih kecil dari:

- a. $d/4$
- b. 6 kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama
- c. 150 mm

3.2.3 Perencanaan kolom

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam perencanaan kolom adalah :

1. Menentukan dimensi kolom

Dalam melakukan estimasi dimensi kolom, perlu diketahui beban aksial yang bekerja diatas kolom. Rumus untuk menghitung terdapat dalam SNI 2847-2013 pasal 10.3.6 adalah:

$$P_n = 0,8 \phi \{ 0,85 \cdot f'c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \} \quad (3-41)$$

2. Mengecek pengaruh kelangsingan

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 10.10.1, pengaruh kelangsingan pada komponen struktur yang ditahan terhadap goyangan samping dapat diabaikan apabila memenuhi persamaan:

$$\frac{k \cdot \lambda_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad (3-42)$$

Sedangkan kontrol kelangsingan kolom untuk rangka portal bergoyang, untuk komponen struktur yang tidak ditahan terhadap goyangan samping, pengaruh kelangsingan dapat diabaikan bila:

$$\frac{k \cdot \lambda_u}{r} \leq 22 \quad (3-43)$$

keterangan:

- k = faktor panjang efektif struktur tekan
- λ_u = panjang bersih komponen struktur tekan

r = radius girasi struktur tekan,
 M_1, M_2 = momen ujung terfaktor kolom yang posisinya berlawanan

3. Mengecek kuat lentur

Komponen struktur rangka momen khusus yang dikenai beban lentur dan aksial berdasarkan SNI 2847-2013 adalah:

- Dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300 mm.
- Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.
- Kekuatan lentur kolom harus memenuhi persamaan

$$\sum M_{nc} > 1,2 \sum M_{nb} \quad (3-44)$$

Keterangan :

$\sum M_{nc}$ = jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi dimuka-muka joint.

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

4. Mengecek gaya geser

Perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi persamaan seperti berikut ini.

$$\phi V_n > V_u \quad (3-45)$$

V_u adalah gaya geser terfaktor dan V_n adalah kuat geser nominal yang dihitung dari persamaan:

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-46)$$

V_c = kuat geser yang disumbangkan oleh beton.

Kuat geser disumbang oleh beton untuk komponen struktur yang dibebani gaya tekan aksial sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.2. ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (3-47)$$

dan

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (3-48)$$

keterangan:

A_v = luas tulangan geser,

V_s = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser,

A_g = luas bruto penampang kolom,

N_u = beban aksial terfaktor yang terjadi,

b_w = lebar balok,

f_y = tegangan leleh yang baja,

f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan.

3.2.4 Perencanaan dinding geser

Perencanaan dinding geser diatur dalam SNI 1726-2012 pasal 11.9.

langkah-langkahnya:

1. Desain penampang horizontal untuk bidang dinding harus didasarkan pada

persamaan:

$$\phi V_n > V_u \quad (3-49)$$

keterangan:

V_u = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

V_n = kekuatan geser nominal yang dihitung sesuai persamaan

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-50)$$

V_c = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton

V_n pada semua penampang horizontal untuk geser dalam bidang dinding

tidak boleh diambil lebih besar dari: $0,83\sqrt{f'c}.h.d$

keterangan:

h = tebal dinding

d = harus diambil sama dengan $0,8.l_w$

2. V_c boleh yang lebih kecil dari nilai yang dihitung dari persamaan:

$$V_c = 0,27.\lambda.\sqrt{f'c}.h.d + \frac{N_u.d}{4l_w} \quad (3-51)$$

atau :

$$V_c = \left[0,05.\lambda.\sqrt{f'c} + \frac{l_w \left(0,1.\lambda.\sqrt{f'c} + 0,2 \frac{N_u}{l_w.h} \right)}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}} \right] .h.d \quad (3-52)$$

keterangan :

l_w = panjang keseluruhan dinding

N_u = positif untuk tekan dan negatif untuk tarik

3. Bila $V_u > \phi V_c$, maka tulangan geser horizontal harus direncanakan untuk memenuhi persamaan (3-49) dan (3-50), dimana V_s harus dihitung dengan:

$$V_s = \frac{A_v.f_y.d}{s} \quad (3-53)$$

keterangan :

A_v = luas tulangan horizontal dalam spasi s

d = harus diambil sama dengan $0,8 l_w$

4. Rasio luas tulangan geser horizontal terhadap luas beton penampang vertikal tidak boleh kurang dari 0,0025.

5. Spasi tulangan geser horizontal tidak boleh melebihi yang terkecil dari $l_w/5$, $3h$, dan 450 mm, dimana l_w adalah panjang keseluruhan dinding.

6. Rasio luas tulangan geser vertikal terhadap luas beton bruto penampang horizontal tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari:

$$\rho_t = 0,0025 + 0,5 \left(0,25 - \frac{h_w}{l_w} \right) (\rho_t - 0,0025) \quad (3-54)$$

dan 0,0025

7. Spasi tulangan geser vertikal tidak boleh melebihi yang terkecil dari $l_w/3$, $3h$, dan 450 mm.

3.2.5 Perencanaan tangga

Untuk perhitungan tangga dimodelkan dimana ujung perletakan pada pelat dianggap sebagai sendi dan perletakan bordes dianggap rol dengan anggapan tangga merupakan unsur sekunder yang tidak mempengaruhi kekuatan struktur secara keseluruhan.

1. Koefisien tahanan didefinisikan dengan persamaan:

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (3-55)$$

2. Luas tulangan yang dibutuhkan pada komponen struktur lentur adalah sebagai berikut :

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b \cdot d \quad (3-56)$$

3. ρ diambil nilai terbesar antara ρ_{perlu} dan ρ_{min}

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'c}} \right) \quad (3-57)$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{\sqrt{f'c}}{4f_y} \text{ atau } \frac{1,4}{f_y} \quad (3-58)$$

4. As yang telah diperoleh digunakan untuk menghitung jumlah tulangan dengan pembulatan ke atas, jumlah tulangan = A_s / luas satu buah tulangan. Dan periksa syarat $\phi M_n \geq M_u$

$$\phi M_n = \phi A_s \cdot f_y \left(d - 0,59 \frac{A_s \cdot f_y}{f'c \cdot b_w} \right) \quad (3-59)$$

5. Luas tulangan maksimum pada komponen struktur lentur adalah:

$$\rho_{max} = 0,004$$

$$A_{s\ max} = \rho_{max} \cdot b \cdot d \quad (3-60)$$

6. Cek luas kebutuhan :

$$A_{s\ min} \leq A_{s\ perlu} \leq A_{s\ max}$$

3.2.6 Perencanaan pondasi *bored pile*

Langkah-langkah dalam perencanaan pondasi bored pile adalah:

1. Menghitung daya dukung pondasi *Bored Pile*

Daya dukung pondasi bored pile mengikuti rumus umum yang diperoleh dari penjumlahan tahanan ujung dan tahanan selimut tiang yang dihitung dengan persamaan (3-61) hingga (3-63).

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (3-61)$$

$$Q_s = f \cdot L \cdot P \quad (3-62)$$

$$Q_p = q_p \cdot A_b \quad (3-63)$$

keterangan:

Q_u = daya dukung terfaktor pondasi (kN)

Q_p = daya dukung pondasi yang diberikan oleh point bearing (kN)

Q_s = daya dukung pondasi oleh friksi pada selimut(kN)

f = gaya gesek yang terjadi pada tiang (kN/m²)

L = panjang tiang (m)

A_b = luas alas tiang (m²)

2. Menentukan jumlah tiang dalam kelompok tiang

Jumlah tiang (n) dihitung dengan persamaan:

$$n = \frac{N}{P_i \text{ tiang}} \quad (3-64)$$

Jarak antar tiang bored pile ditentukan oleh persamaan:

$$2,5D < S \leq 3D \quad (3-65)$$

Jarak antara sumbu tiang ke tepi *pilecap* ditentukan persamaan:

$$S = 1,0 D \quad (3-66)$$

keterangan:

P = beban yang diterima tiang (kN)

N = beban normal (kN)

S = jarak sumbu tiang ke tepi atau ke tiang yang lain (m)

D = diameter tiang (m)

3. Menghitung efisiensi kelompok tiang

Untuk menentukan efisiensi kelompok tiang, dapat dihitung dengan

rumus *Converse Labarre*

$$\eta = 1 - \frac{\theta}{90^\circ} \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m.n} \right) \quad (3-67)$$

keterangan:

η = efisiensi

m = jumlah deret tiang

n = jumlah tiang setiap deret

θ = arc tan (d/s)

s = jarak antar tiang (m)

d = diameter tiang (m)

4. Menghitung kontrol reaksi tiang

$$P_{\max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_y \cdot X}{\sum x^2} + \frac{M_x \cdot Y}{\sum y^2} \quad (3-68)$$

keterangan:

P_{max} = beban maksimum yang diterima tiang (kN)

$\sum V$ = jumlah total beban normal (kN)

N = jumlah tiang dalam satu pilecap

M_x = momen yang bekerja pada tiang tegak lurus sumbu x yang bekerja pada pondasi, diperhitungkan terhadap pusat berat seluruh tiang yang terdapat dalam pilecap (kN-m)

M_y = momen yang bekerja pada tiang tegak lurus sumbu y yang bekerja pada pondasi, diperhitungkan terhadap pusat berat seluruh tiang yang terdapat dalam pilecap (kN-m)

X = absis tiang terhadap titik berat kelompok tiang (m)

Y = ordinat tiang terhadap titik berat kelompok tiang (m)

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

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

5. Menghitung pemindahan beban kolom pada pondasi

$\phi P_k >$ gaya aksial rencana

$$\phi P_k = 0,8 \phi [0,85 \cdot f'c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] \quad (3-69)$$

keterangan:

P_k = kemampuan menahan gaya aksial oleh kolom

A_g = luas penampang bruto suatu kolom

A_{st} = luas penampang tulangan kolom

6. Mengecek geser satu arah dalam perencanaan *pile cap*

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3-70)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (3-71)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d \quad (3-72)$$

$$V_u = \sum P_u \quad (3-73)$$

Atau

$$V_u = Q_u \cdot q \cdot L \quad (3-74)$$

$$Q_u = \frac{P_u}{A_p} \quad (3-75)$$

$$q = \text{lebar} \frac{1}{2} \text{ pile cap} - \frac{1}{2} h \text{ kolom} - d \quad (3-76)$$

keterangan:

V_u = gaya geser total terfaktor (kN)

V_n = kuat geser nominal (kN)

V_c = kuat geser yang disumbangkan oleh beton

P_u = beban terfaktor pada pondasi tiang

b_o = penampang kritis

A_p = luas *pile cap*

L = lebar *pile cap*

D = tinggi efektif

7. Mengecek geser dua arah dalam perencanaan *pile cap*

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3-77)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (3-78)$$

Nilai kuat geser beton diambil yang terkecil dari :

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d \quad (3-79)$$

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d \quad (3-80)$$

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2\right) \frac{1}{12} \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d \quad (3-81)$$

3.3 Analisis Perencanaan Terhadap Gempa

Struktur gedung dapat direncanakan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam arah masing-masing sumbu utama denah struktur berupa beban gempa dinamik. Langkah-langkah dalam perhitungan beban gempa sudah diatur dalam SNI 1726-2013.

3.3.1 Mencari nilai S_{DS} dan S_{D1}

Nilai S_{DS} dan S_{D1} dapat dicari melalui web desain spektra Indonesia di

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

3.3.2 Menentukan kategori resiko

Kategori risiko untuk struktur bangunan gedung dan non gedung adalah sesuai dengan tabel 3.5.

Tabel 3.5 Kategori Resiko

Jenis Pemanfaatan	Kategori resiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <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
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan UGD - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo 	III

(Tabel 1-SNI 1726-2012)

Tabel 3.5 Kategori Resiko (lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori resiko
<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 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"> - 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 - 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>	IV

(Tabel 1-SNI 1726-2012)

3.3.3 Menentukan kategori desain seismik

Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter percepatan respons spektral pada periode pendek adalah:

Tabel 3.6 KDS Berdasarkan S_{DS}

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

(Tabel 6-SNI 1726-2012)

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

Tabel 3.7 KDS Berdasarkan S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	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

(Tabel 7-SNI 1726-2012)

3.3.4 Menentukan sistem struktur dan parameter struktur

Faktor R , C_d , dan Ω_o untuk sistem penahan gaya gempa ditentukan berdasarkan Tabel 9 SNI 1726-2012.

3.3.5 Menentukan faktor keutamaan

Faktor keutamaan I_e , berdasarkan kategori risikonya adalah seperti pada tabel 3.8.

Tabel 3.8 Faktor Keutamaan Gempa

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

(Tabel 2-SNI 1726-2012)

3.3.6 Menentukan perioda fundamental

Nilai koefisien C_u dapat ditentukan dengan tabel 3.9, sedangkan nilai koefisien C_t dan x dapat ditentukan dengan tabel 3.10.

Tabel 3.9 Koefisien Batas Atas pada Perioda yang Dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	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

(Tabel 14-SNI 1726-2012)

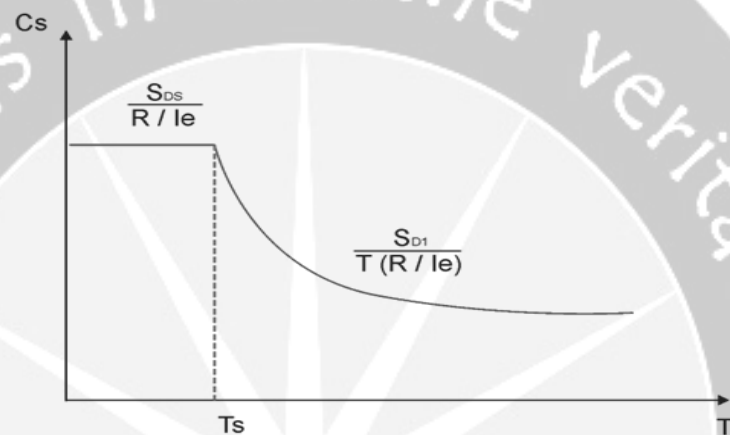
Tabel 3.10 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x

	C_t	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 ^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

(Tabel 15-SNI 1726-2012)

3.3.7 Menentukan faktor respon gempa

Berdasarkan pada SNI 1726-2012 pasal 6.4, bila spektrum respons desain yang diperlukan oleh tata cara dan prosedur gerak tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Spektrum Respon Desain

3.3.8 Menghitung gaya geser dasar

Beban geser nominal statik ekuivalen yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$V = C_s \cdot W \quad (3-82)$$

keterangan:

C_s = koefisien respons gempa

W = berat seismik efektif bangunan