

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Teori Perhitungan Dimensi Isolator

Langkah-langkah perencanaan isolator:

1. Kekakuan horisontal

$$K_H = \frac{GA}{t_r} \quad \dots (3-1)$$

Keterangan:

K_H = Kekakuan horisontal
 G = Modulus geser *elastomeric*
 A = Luas penampang
 t_r = Total ketebalan *rubber*

2. Frekuensi natural

$$\omega = \sqrt{\frac{K_{eff} g}{W}} \quad \dots (3-2)$$

Keterangan:

ω = Frekuensi natural
 K_{eff} = Kekakuan efektif
 g = Gravitasi
 W = Berat seismik efektif struktur di atas sistem isolasi

3. Periode efektif

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad \dots (3-3)$$

Keterangan:

T = Periode efektif
 ω = Frekuensi natural

4. Damping

$$\beta = \frac{W_D}{2\pi K_H D^2} \quad \dots (3-4)$$

Keterangan:

β = Damping
 W_D = Energi yang dihamburkan persiklus
 K_H = Kekakuan horisontal
 D = Displacement

5. Shape factor

$$S = \frac{\Phi}{4t} \quad \dots (3-5)$$

Keterangan:

S = Shape factor
 t = ketebalan isolator

6. Modulus kompresi

$$E_c = \frac{6 G S^2 K}{6 G S^2 + K} \quad \dots (3-6)$$

Keterangan:

E_c = Modulus kompresi
 G = Modulus geser *elastomeric*
 S = Shape factor
 K = Kekakuan

7. Beban tekuk

$$P_{erit} = \frac{\pi}{t_r} \sqrt{\left(E_c \frac{I}{3}\right) G A_s} \quad \dots (3-7)$$

Keterangan:

P_{erit} = Beban tekuk
 t_r = Total ketebalan *rubber*
 E_c = Modulus kompresi

I = Inersia isolator
 G = Modulus geser *elastomeric*
 A = Luas isolator

8. Faktor aman

$$SF = \frac{P_{erit}}{W} \quad \dots (3-8)$$

Keterangan:

SF = Faktor aman
 P_{erit} = Beban tekuk
 W = Desain beban aktual yang dipikul oleh *bearing*

3.2. Teori Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung Menurut SNI 03-2847-2013

3.2.1. Perhitungan Pelat Lantai

Langkah-langkah perencanaan plat lantai:

1. Pelat dua arah momen lentur akibat beban berfaktor.

$$M_u = 0,001 \cdot w_u \cdot l_x^2 \cdot k \quad \dots (3-9)$$

2. Gaya geser akibat beban berfaktor.

$$V_u = \frac{1,15 w_u l_n}{2} \quad \dots (3-10)$$

3. Tinggi efektif plat.

$$d = h - 30 \text{ (mm)} \quad \dots (3-11)$$

4. Kuat geser beton.

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b d \quad \dots (3-12)$$

Dalam perhitungan lebar plat diambil sama dengan 1000 mm. Syarat yang harus dipenuhi:

$$\phi V_c \geq V_u ; \phi = 0,75 \quad \dots (3-13)$$

5. Nilai ρ maks sebagai acuan daktilitas.

$$\rho_b = \frac{0,85 f'_c \beta_1}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} \quad \dots (3-14a)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \rho_b \quad \dots (3-14b)$$

β_1 merupakan faktor pengali yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{untuk } f'_c \leq 28 \text{ MPa, } \beta_1 = 0,85 \quad \dots (3-15a)$$

$$\text{untuk } f'_c > 28 \text{ MPa, } \beta_1 = 0,85 - \left(\frac{f'_c - 28}{7} 0,05 \right) \geq 0,65 \quad \dots (3-15b)$$

6. Rasio penulangan ρ yang dibutuhkan

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} ; \text{nilai } \phi \text{ diasumsikan } 0,9 \quad \dots (3-16a)$$

$$\rho = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 f'_c}} \right) \quad \dots (3-16b)$$

7. Penampang bertulangan daktil $\rho \leq \rho_{maks}$, bila didapat sebaliknya maka pelat harus diperbesar.

8. Luas tulangan perlu.

$$A_s = \rho b d \quad \dots (3-17)$$

Syarat tulangan minimum $A_s \geq A_{s \text{ min}}$. Syarat tulangan minimum mengikuti ketentuan untuk tulangan susut dan suhu.

$$A_{s \text{ min}} = 0,002 b h ; \text{ untuk } f_y \geq 300 \text{ Mpa} \quad \dots (3-18a)$$

$$A_s \min = 0,0018 b h ; \text{ untuk } f_y \geq 400 \text{ Mpa} \quad \dots (3-18b)$$

9. Diameter dan spasi tulangan.

$$s = \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 b}{A_s} ; s \leq 2h \quad \dots (3-19)$$

10. Memastikan pelat lantai aman memikul beban yang bekerja.

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \quad \dots (3-20)$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} 0,003 \quad \dots (3-21)$$

Jika $\varepsilon_t \geq 0,005 \rightarrow$ penampang terkendali tarik $\rightarrow \phi = 0,90$

Jika $\varepsilon_t \leq \varepsilon_y \rightarrow$ penampang terkendali tekan $\rightarrow \phi = 0,65$

Jika $\varepsilon_y < \varepsilon_t < 0,005 \rightarrow$ daerah transisi $\rightarrow \phi$ ditingkatkan secara linear dari 0,65 menjadi 0,90.

$$M_n = A_s f_y (d - a/2) \quad \dots (3-22)$$

$$\text{Cek: } \phi M_n \geq M_u. \quad \dots (3-23)$$

3.2.2. Perencanaan Balok

1. ρ min dan ρ maks

$$\rho \min = \frac{1,4}{f_y} \quad \dots (3-24)$$

$$\rho \max = \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} \quad \dots (3-25)$$

Diambil nilai terbesar sebagai syarat tulangan minimum balok.

2. Tinggi efektif balok, $d = h - d_s$. Nilai d dapat diambil antara 60 -80 mm.
3. Hitung rasio penulangan ρ seperti persamaan (3-8) dengan mengasumsikan nilai ϕ 0,9.

4. Pemeriksaan terhadap syarat tulangan maksimum.

Bila $\rho \leq \rho_{maks}$ maka balok dirancang sebagai balok tulangan tunggal.

Bila $\rho > \rho_{maks}$ maka balok dirancang sebagai balok tulangan rangkap.

5. Jarak bersih antar tulangan: $x \geq d_b$ atau 25 mm untuk menentukan tulangan dipasang satu atau dua baris.
6. Analisis ulang dan cek balok termasuk penampang terkendali tarik, terkendali tekan atau kondisi transisi, untuk menentukan nilai faktor reduksi kekuatan.

$$\phi M_n \geq M_u \quad \dots (3-26)$$

7. Kuat geser beton.

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad \dots (3-27)$$

8. Kuat geser sengkang yang diperlukan.

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c ; \phi = 0,75 \quad \dots (3-28)$$

$$V_s \leq 0,66 \sqrt{f'_c} b_w d \quad \dots (3-29)$$

9. Spasi sengkang.

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} \quad \dots (3-30)$$

A_v adalah luas penampang kaki sengkang vertikal.

10. Syarat spasi maksimum sengkang.

$$s_{maks} = 1/2 d \text{ bila } V_s \leq 0,33 \sqrt{f'_c} b_w d \quad \dots (3-31)$$

$$s_{maks} = 1/4 d \text{ bila } V_s > 0,33 \sqrt{f'_c} b_w d \quad \dots (3-32)$$

3.2.3. Perencanaan Kolom

1. Kelangsingan kolom.

$$\frac{k l_u}{r} \leq 34 - 12 \frac{M_1}{M_2} \quad \text{untuk portal bergoyang} \quad \dots (3-33a)$$

$$\frac{k l_u}{r} \leq 22 \quad \text{untuk portal bergoyang} \quad \dots (3-33b)$$

2. Tinjauan kolom biaksial.

$$M_{o2} = M_{n2} + M_{n3} \left(\frac{b}{h} \right) \left(\frac{1-\beta}{\beta} \right) \text{ bila } M_{n2} > M_{n3} \quad \dots (3-34a)$$

$$M_{o3} = M_{n3} + M_{n2} \left(\frac{b}{h} \right) \left(\frac{1-\beta}{\beta} \right) \text{ bila } M_{n3} > M_{n2} \quad \dots (3-34b)$$

$$M_{n2} = \frac{M_{u2}}{\phi} \quad \dots (3-34c)$$

$$M_{n3} = \frac{M_{u3}}{\phi} \quad \dots (3-34d)$$

Nilai β dapat diambil sebesar 0,65 sedangkan faktor reduksi (ϕ) diasumsikan sebesar 0,65.

3. Kuat geser beton.

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad \dots (3-35)$$

N_u adalah gaya tekan aksial, A_g luas penampang bruto kolom, $\lambda = 1,0$ untuk beton.

3.3. Teori Perencanaan Gempa Menurut SNI 03-1726-2012

3.3.1 Gempa Rencana

Berikut ini merupakan daftar keutamaan dari berbagai kategori risiko yang harus dikalikan dengan pengaruh gempa rencana.

Tabel 3.1 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

Tipe kelas situs harus ditetapkan sesuai dengan definisi dari tabel berikut yang mencakup pasal-pasal nya.

Tabel 3. 2 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (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

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastis, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifikasi, 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/setengahh teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa		

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

3.3.3 Spektrum Respons Desain

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan dasain, S_a , harus diambil dari persamaan (3-36) ;

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad \dots (3-36)$$

2. Untuk periode 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 periode lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan(3-37):

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad \dots (3-37)$$

Keterangan:

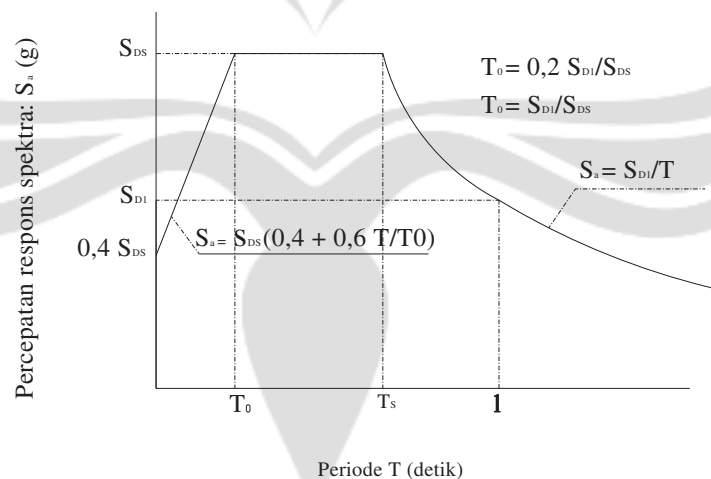
S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek;

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

T = periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$



Gambar 3.1 Spektrum Respon Percepatan

(Arfiadi dan Satyarno, 2013)

3.3.4. Parameter Percepatan Terpetakan

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad \dots (3-39)$$

Keterangan:

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda pendek.

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda 1,0 detik.

3.3.5. Parameter Spektral Desain

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

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

Nilai S_{MS} dan S_{M1} ditentukan dalam persamaan (3-38) dan (3-39).

Tabel 3.3 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCE_R) Terpetakan pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detk, 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				

Tabel 3.4 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCE_R)				
	Terpetakan pada Periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
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	2,1	2,4
SF	SS ^b				

Catatan:

SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik.

Tabel 3.5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 3.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

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

3.3.6. Struktur Penahan Gaya Seismik

Beberapa parameter yang digunakan dalam sistem struktur penahan gaya seismik yakni:

1. Faktor koefisien modifikasi respons (R)
2. Faktor kuat lebih sistem (Cd)
3. Faktor pembesaran defleksi (Ω_0)
4. Faktor batasan tinggi sistem struktur

3.3.7. Kombinasi Beban untuk Metode Ultimit

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
4. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
5. $1,2 D + 1,0 E + L$

Berikut kombinasi dasar untuk desain:

- Kekuatan $(1,2 + 0,2 S_{DS})D + \rho Q_E + L$

6. $0,9 D + 1,0 W$

7. $0,9 D + 1,0 E$

Berikut kombinasi dasar untuk desain:

- Kekuatan $(0,9 - 0,2 S_{DS})D + \rho Q_E + 1,6 H$

Pada kombinasi 3, 4, dan 5 faktor beban untuk L boleh diambil sama dengan 0,5 kecuali ruang garasi, ruang pertemuan dan semua ruangan yang nilai beban hidupnya lebih besar dari 500 kg/m^2 .

Pengaruh beban gempa, E , pada kombinasi beban di atas harus ditentukan sesuai dengan:

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5 harus ditentukan dalam persamaan berikut:

$$E = E_h + E_v \quad \dots (3-42)$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7 harus ditentukan dalam persamaan berikut:

$$E = E_h - E_v \quad \dots (3-43)$$

Keterangan:

E = Pengaruh beban gempa.

E_h = Pengaruh beban gempa horisontal .

E_v = Pengaruh beban gempa vertikal.

Sedangkan pengaruh beban gempa horisontal, E_h , dan beban vertikal, E_v , ditentukan dalam persamaan berikut:

$$E_h = \rho Q_E \quad \dots (3-44)$$

$$E_v = 0,2 S_{DS} D \quad \dots (3-45)$$

Keterangan:

ρ = Faktor redudansi.

Q_E = Pengaruh gaya gempa horisontal dari V atau F_p .

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respon desain pada perioda pendek.

D = Pengaruh beban mati.

3.3.8. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

$$F_x = C_{vx} V \quad \dots (3-46)$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \quad \dots (3-47)$$

Dimana:

- C_{vx} = Faktor distribusi lateral.
 V = Gaya dasar seismik atau geser di dasar struktur.
 W_i dan W_x = Bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat I atau x .
 h_i dan h_x = Tinggi dari dasar sampai tingkat I atau x , dinyatakan dalam meter.
 k = Eksponen yang terkait dengan periode struktur sebagai berikut:
 1. Untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 0,5 detik atau kurang, $k=1$.
 2. Untuk struktur yang memiliki periode 2,5 detik atau lebih, $k=2$.
 3. Untuk struktur yang mempunyai periode antara 0,5 sampai 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2.

Pada gaya dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s W_t \quad \dots (3-48)$$

Keterangan:

- C_s = Koefisien respon seismik yang ditentukan
 W_t = Berat total gedung.

Koefisien nilai C_s ditentukan dalam persamaan berikut:

$$1. C_s \text{ maksimum} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad \dots (3-49)$$

$$2. C_s \text{ hasil hitungan} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad \dots (3-50)$$

$$3. C_s \text{ minimum} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad \dots (3-51)$$

$$4. C_s \text{ min tambahan} = \frac{0,5 S}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad \dots (3-52)$$

Keterangan:

R = Faktor modifikasi respons
 I_e = Faktor keutamaan
 T = Periode struktur dasar (detik)

3.3.9 Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Pada persamaan berikut ditentukan gaya geser desain gempa disemua tingkat.

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

Keterangan:

F_i = Bagian dari geser seismik V yang timbul di tingkat ke-i

3.3.10. Simpangan Antar Lantai dan P-Delta

Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut ini:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad \dots (3-54)$$

Keterangan:

C_d = Faktor amplifikasi defleksi
 δ_{xe} = Defleksi pada lokasi yang diisyaratkan dengan analisis elastis
 I_e = Faktor keutamaan gempa

Pengaruh P-delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai tingkat yang ditimbulkan oleh pengaruh ini tidak diisyaratkan untuk diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan bertikut sama dengan atau kurang dari 0,10:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad \dots (3-55)$$

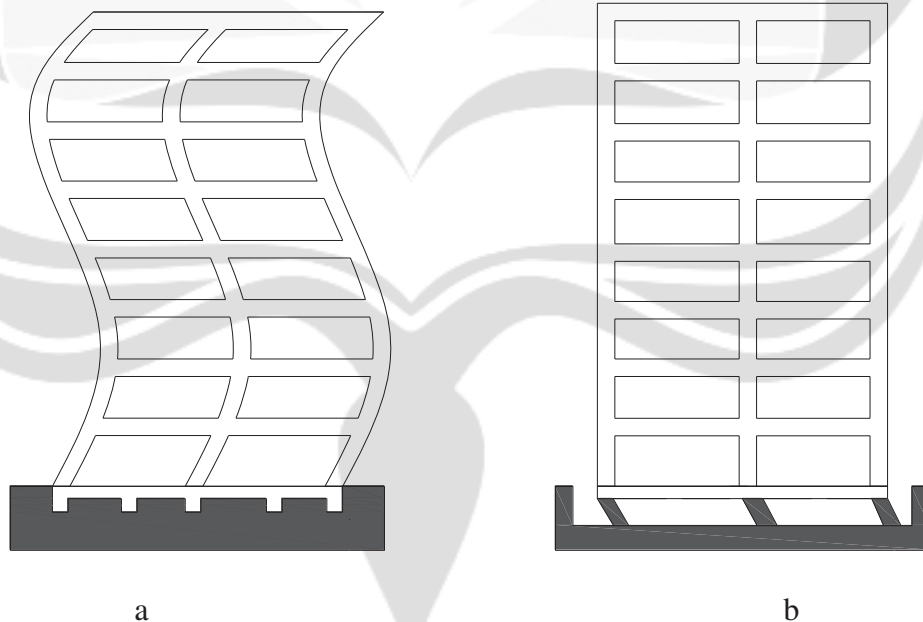
Dimana harus tidak boleh melebihi $\theta_{\text{maks}} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25$.

Keterangan:

- P_x = Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat (kN)
 Δ = Simpangan antar lantai tingkat desain (mm)
 V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antar tingkat x dan x-1 (kN)
 h_{sx} = Tinggi tingkat dibawah tingkat x (mm)
 β = Rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x-1.

3.4. Teori Base Isolation Berdasarkan SNI 03-1726-2012

Konsep *base isolation* pada dasarnya bertujuan untuk mengisolasi bangunan di atasnya dari tanah. Pada gambar di bawah ini akan ditampilkan perbedaan struktur yang menggunakan *base isolation* dan struktur konvensional.



Gambar 3.2 (a). Struktur Konvensional

(b). Struktur dengan *Base Isolation*

3.4.1. Perpindahan Rencana

Sistem isolasi harus direncanakan dan dibangun untuk menahan perpindahan gempa lateral minimum, D_D , yang bekerja pada setiap arah sumbu horisontal utama struktur sesuai dengan persamaan berikut:

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4 \pi^2 B_D} \quad \dots (3-56)$$

Keterangan:

- g = Percepatan gravitasi. Satuan g adalah mm/det² jika satuan untuk perpindahan rencana, D_D , dalam mm.
- S_{D1} = Parameter percepatan spektral rencana dengan redaman 5 persen pada periode 1 detik dengan satuan g .
- T_D = Periode efektif struktur dengan isolasi seismik, dalam detik, pada perpindahan rencana dalam arah yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam persamaan (3-57).
- B_D = Koefisien numerik terkait dengan redaman efektif sistem isolasi pada perpindahan rencana, β_D , seperti yang diatur dalam tabel 3.7.

Tabel 3.7 Koefisien redaman, β_D atau β_M

Redaman Efek, β_D atau β_M (presentase dari redaman kritis) ^{a, b}	Faktor β_D atau β_M
≤ 2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9
≥ 50	2,0

^a Koefisien redaman harus berdasarkan redaman efektif sistem isolasi yang ditentukan menurut persyaratan-persyaratan.

^b Koefisien redaman harus berdasarkan interpolasi linear untuk nilai redaman efektif diantara nilai-nilai yang diberikan di atas.

3.4.2. Periode Efektif Pada Saat Perpindahan Rencana

Periode efektif struktur yang diisolasi pada perpindahan rencana, T_D , Harus ditentukan dengan menggunakan karakteristik deformasi sistem isolasi dan sesuai dengan persamaan berikut:

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{Dmin} g}} \quad \dots (3-57)$$

Keterangan:

- W = Berat seismik struktur di atas pemisah isolasi.
- K_{Dmin} = Kekakuan efektif minimum sistem isolasi, dalam kN/mm, pada perpindahan rencana di arah horisontal yang ditinjau.
- g = Percepatan gravitasi.

3.4.3. Perpindahan Maksimum

Perpindahan maksimum sistem isolasi, D_M , pada arah yang paling menentukan dari respons horisontal harus dihitung sesuai dengan persamaan berikut:

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4 \pi^2 B_M} \quad \dots (3-58)$$

Keterangan:

- g = Percepatan gravitasi
- S_{M1} = Parameter percepatan spektral gempa maksimum yang dipertimbangkan dengan redaman 5 persen pada periode 1 detik dengan satuan g.
- T_M = Periode efektif struktur dengan isolasi seismik, dalam detik, pada perpindahan maksimum dalam arah yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam persamaan (3-59).
- B_M = Koefisien numerik terkait dengan redaman efektif sistem isolasi pada perpindahan maksimum, β_M , seperti yang diatur dalam tabel 3.7.

3.4.4. Periode Efektif Pada Saat Perpindahan Maksimum

Periode efektif yang diisolasi pada perpindahan maksimum, T_M , harus ditentukan dengan menggunakan karakteristik deformasi sistem isolasi dan sesuai dengan persamaan berikut:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{M \min} g}} \quad \dots (3-59)$$

Keterangan:

- W = Berat seismik efektif struktur di atas pemisah isolasi yang dinyatakan dalam kilo newton (kN).
- $k_{M \min}$ = Kekakuan efektif minimum sistem isolasi, dinyatakan dalam kilo newton per milimeter (kN/mm), pada saat perpindahan maksimum di arah horisontal yang ditinjau.
- g = Percepatan gravitasi.

3.4.5. Perpindahan Total

Perpindahan rencana total, D_{TD} , dan perpindahan maksimum total D_{TM} , dari elemen-elemen sistem isolasi dengan distribusi spasial kekakuan lateral yang seragam tidak boleh diambil kurang dari nilai yang ditentukan oleh persamaan-persamaan berikut:

$$D_{TD} = D_D \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad \dots (3-60)$$

$$D_{TM} = D_M \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad \dots (3-61)$$

Keterangan:

- D_D = Perpindahan rencana di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh persamaan (3-56).
- D_M = Perpindahan maksimum di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam persamaan (3-58).

- y = Jarak antara titik pusat kekakuan sistem isolasi dan elemen yang diinginkan, diukur tegak lurus terhadap arah beban gempa yang ditinjau.
- e = Eksentrisitas sesungguhnya diukur dari denah antara titik pusat massa struktur di atas batas pemisahan isolasi dan titik pusat kekakuan sistem isolasi, ditambah dengan eksentrisitas tak terduga, dalam mm, diambil sebesar 5 persen dari ukuran maksimum bangunan tegak lurus untuk arah gaya yang ditinjau.
- b = Ukuran denah struktur terpendek diukur tegak lurus terhadap d .
- d = Ukuran terpanjang denah struktur.

Pengecualian perpindahan rencana total, D_{TD} , dan perpindahan maksimum total, D_{TM} , masing-masing diambil kurang dari nilai yang ditentukan, tetapi tidak kurang dari 1,1 kali D_D dan D_M , jika perhitungan menunjukkan bahwa sistem isolasi dikonfigurasi untuk menahan torsi.

3.4.6. Sistem Isolasi dan Elemen-Elemen Struktural di Bawah Sistem Isolasi

Sistem isolasi, pondasi, dan semua elemen-elemen struktural di bawah sistem isolasi harus direncanakan dan dibangun untuk menahan gaya gempa lateral minimum, V_b , dengan menggunakan semua persyaratan yang sesuai untuk struktur tanpa isolasi dan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V_b = k_{D \text{ mak}} D_D \quad \dots (3-62)$$

Keterangan:

- $k_{D \text{ mak}}$ = Kekakuan efektif maksimum, dalam kN/mm, dari sistem isolasi pada perpindahan rencana dalam arah horisontal yang ditinjau.
- D_D = Perpindahan rencana, dalam mm, di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh persamaan (3-56).
- V_b = Tidak boleh diambil kurang dari gaya maksimum di sistem isolasi untuk perpindahan sembarang sampai dengan dan termasuk perpindahan rencana.

3.4.7. Elemen Struktural di Atas Sistem Isolasi

Struktur di atas sistem isolasi harus direncanakan dan dibangun untuk menahan gaya geser minimum, V_s , menggunakan semua persyaratan yang sesuai untuk struktur tanpa isolasi dan sesuai persamaan berikut:

$$V_s = \frac{k_{D \max} D_D}{R_1} \quad \dots (3-63)$$

Keterangan:

- $k_{D \max}$ = Kekakuan efektif maksimum, dalam kN/mm, dari sistem isolasi pada perpindahan rencana dalam arah horisontal yang ditinjau.
- D_D = Perpindahan rencana, dalam mm, di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh persamaan (3-56).
- R_1 = Koefisien numerik yang berhubungan dengan tipe sistem penahan gaya gempa di atas sistem isolasi.

Faktor R_1 harus berdasarkan pada tipe sistem penahan gaya gempa yang digunakan untuk struktur di atas sistem isolasi dan harus bernilai $3/8$ dari nilai R yang diberikan oleh tabel 9 (SNI-03.1726.2012), dengan nilai maksimum tidak lebih besar dari 2,0 dan nilai minimum tidak kurang dari 1,0.

3.4.8. Batas V_s

Nilai V_s tidak boleh dari batasan berikut ini:

1. Gaya gempa untuk struktur yang terjepit di dasar dengan gempa efektif, W , yang sama, dan periodenya sama dengan periode struktur dengan isolasi seismik, T_D .
2. Gaya geser dasar untuk beban angin rencana terfaktor.
3. Gaya gempa lateral yang dibutuhkan untuk mengaktifkan sistem isolasi secara penuh (misal: tingkat lelah dari suatu sistem yang melunak (*softening*

system), kapasitas ultimit suatu sistem pengekan angin, atau tingkat friksi lepas dari suatu sistem gelincir (*the break-away friction level of a sliding system*).

3.4.9. Distribusi Vertikal Gaya

Gaya geser harus didistribusikan ke seluruh tinggi struktur di atas batas pemisah isolasi sesuai dengan persamaan berikut:

$$F_x = \frac{V_s w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_x h_i} \quad \dots (3-64)$$

Keterangan:

- F_x = Bagian V_s yang bekerja ditingkat x
- V_s = Gaya gempa lateral rencana total atau geser dari elemen-elemen di atas sistem isolasi seperti yang ditentukan persamaan (3-63).
- w_x = Bagian dari W yang ditempatkan atau dipasang di tingkat x .
- h_x = Tinggi tingkat x dari dasar.