

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Analisis Gempa Rencana Berdasarkan Peraturan SNI 1726:2019

3.1.1 Menentukan parameter percepatan terpetakan

Terdapat 2 macam jenis parameter S_s dan S_t pada SNI 1726:2019 pasal 6.1.2 yang masing-masing nilai besar respons spektralnya terdapat pada <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/> dengan nama kota ataupun lokasi sebagai titik koordinat. Parameter S_s adalah parameter respons spektral percepatan gempa periode pendek dan parameter S_t merupakan parameter respons spectral percepatan gempa pada periode per 1 detik (SNI 1726:2019, pasal 6.2).

3.1.2 Menentukan klasifikasi situs

Penentuan klasifikasi berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 5.1 memiliki maksud untuk memberikan kriteria desain seismik sebuah bangunan atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak. Pihak berwewenang atau ahli desain geoteknik yang dapat menetapkan kelas situs dan juga harus berdasarkan penyelidikan tanah baik dilapangan maupun dilaboratorium. Seseorang ahli geoteknik yang bersertifikat harus mengestimasi sifat tanah apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs hingga kedalaman 30m. Apabila terdapat lebih dari 3 meter lapisan tanah pada permukaan dasar fondasi dan permukaan batuan dasar maka penetapan pada kelas situs SA (batuan keras) dan SB (batuan) tidak diperbolehkan. Berikut ialah tabel klasifikasi situs menurut SNI 1726:2019 pasal 5.3

Tabel 3.1 Klasifikasi Situs

Kelas Situs			Vs (m/detik)	N atau Nch	Su (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
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti 6.10.1)	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:				
	1 Indeks plastisitas, $PI > 20$,				
	2 Kadar air, $w \geq 40\%$,				
	3 Kuat geser niralir $\bar{u} < 25$ kPa				
	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 sensitive, tanah tersedimentasi 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 $\bar{u} < 50$ kPa				

(Sumber: SNI 1726:2019 tabel 5.1)

3.1.3 Menentukan koefisien situs

Untuk menentukan parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) dipermukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi pada perioda 0,2 detik dan 1 detik. Faktor amplifikasi tersebut memiliki 2 jenis yaitu faktor amplifikasi pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi pada getaran perioda 1 detik (F_v). Kedua faktor amplifikasi tersebut dijabarkan berdasarkan dari tabel 3.2 dan tabel 3.3. Apabila terdapat nilai-nilai antara baik S_s maupun S_1 dapat dilakukan interpolasi linear.

Tabel 3.2 Koefisien Situs, F_a

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

(Sumber: SNI 1726:2019 tabel 6)

Tabel 3.3 Koefisien Situs, F_v

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

(Sumber: SNI 1726:2019 tabel 7)

Setelah faktor amplifikasi didapatkan dari tabel 3.2 dan 3.3 , maka kemudian digunakan untuk mencari nilai spectrum respon percepatan pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs. Parameter respons spectrum dihitung berdasarkan persamaan (3-1) dan (3-2).

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

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

3.1.4 Menentukan parameter percepatan spectral desain

Parameter percepatan spectral desain dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3-3) dan (3-4).

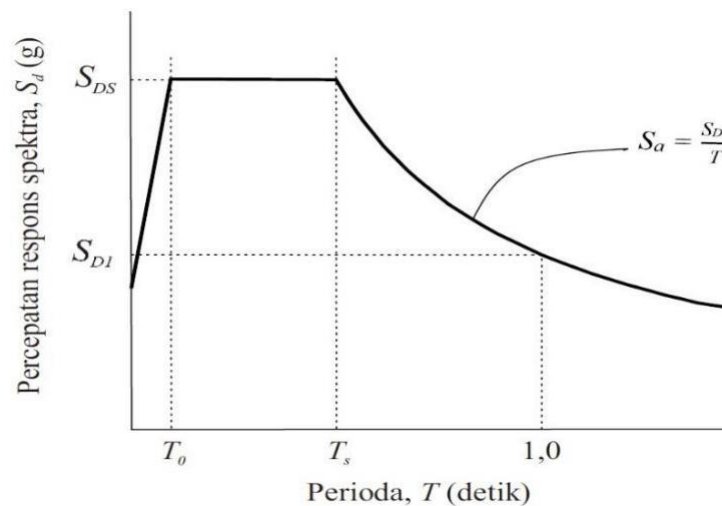
$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3-3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3-4)$$

Dengan keterangan :

S_{DS} = parameter percepatan spectral desain untuk perioda pendek

S_{D1} = parameter percepatan spectral desain untuk perioda 1 detik



Gambar 3.1 Spektrum Respons Desain

(Sumber: SNI 1726:2019 gambar 3)

3.1.5 Menentukan spectrum respons desain (S_a)

Perhitungan spectrum respons desain pada SNI 1726:2019 mengacu pada Gambar 3 dan mengikuti ketentuan sebagai berikut :

1. Spektrum respons desain harus diambil persamaan sebagai berikut apabila perioda lebih kecil dari T_0

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3-5)$$

2. Apabila perioda lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , maka persamaan (3-5) sama dengan S_{DS} .
3. Apabila perioda lebih besar dari T_s , persamaan (3-5) diubah dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_a = \frac{SD1}{T} \quad (3-6)$$

Dengan :

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS} \quad (3-7)$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} \quad (3-8)$$

3.1.6 Menentukan kategori resiko dan faktor keutamaan gempa

Dalam memikul beban gempa , suatu bangunan gedung maupun non gedung memiliki kategori resiko yang dibedakan dari fungsi bangunan tersebut berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 4.1.2 , berikut kategori resiko untuk beban gempa:

Tabel 3.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain : - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan	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 - Pabrik	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion	III
Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo	

Lanjutan Tabel 3.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk
Beban Gempa

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 dibatasi untuk : - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi - Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang diisyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III
Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk : - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat	IV

Lanjutan Tabel 3.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk
Beban Gempa

- Pusat pembangkit energy dan fasilitas public 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 diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam kategori risiko IV	
--	--

(Sumber : SNI 1726:2019 tabel 3)

Pengaruh gempa untuk berbagai risiko yang terlampir pada tabel 3.4 harus dikalikan dengan faktor keutamaan (I_e) menurut tabel 3.5

Tabel 3.5 Faktor Keutamaan Gempa

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

(Sumber: SNI 1726:2019 tabel 4)

3.1.7 Menentukan kategori desain seismik

Dalam menentukan tipe struktur yang digunakan dalam perencanaan bangunan dan pendetailan struktur dibutuhkan kategori desain seismik. Kategori desain seismik E dapat ditetapkan apabila kategori risiko I, II, atau III yang memiliki parameter respons spektral pada perioda 1 detik (S_1) lebih besar atau sama dengan 0,75, sedangkan kategori seismik F ditetapkan apabila risiko IV dan memiliki respons spektral pada perioda 1 detik

(S_I) lebih besar atau sama dengan 0,75. Selain dari kategori tersebut, kategori desain seismik juga dapat ditetapkan berdasarkan kategori risiko dan parameter respons spectral percepatan desainnya (S_{DS} dan S_{D1}) yang dikelompokkan pada tabel 3.6 dan 3.7.

Tabel 3.6 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
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	D
$0,5 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2019 tabel 8)

Tabel 3.7 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
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2019 tabel 9)

3.1.8 Pemilihan system struktur

Sistem struktur yang dipakai harus sesuai dengan batasan yang telah ditentukan pada tabel 3.8. Pada tabel 3.8 dipakai untuk penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar lantai tingkat desain, serta koefisien modifikasi respons yang sesuai, R , faktor kuat lebih system, Ω_0 , dan koefisien amplifikasi defleksi, C_d .

Tabel 3.8 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk system penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggistruktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
A. Sistem dinding penumpu	7.1.1	7.1.2	7.1.3	7.1.4	7.1.5	7.1.6	7.1.7	7.1.8
1. Dinding geser beton bertulang khusus	5	2½	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah	4	2½	4	TB	TB	12 ^k	12 ^k	12 ^k
6. Dinding geser pracetak biasa	3	2½	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2½	3½	TB	TB	48	48	30
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	2½	2¼	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	1¼	TB	48	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2½	2	TB	10	TI	TI	TI
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
16. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2½	2	TB	TB	10	TI	TI
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3½	TB	TB	20	20	20
B. Sistem rangka bangunan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3½	2	3¼	TB	TB	10 ^f	10 ^f	TI ^f
4. Dinding geser beton bertulang khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah	5	2½	4½	TB	TB	12 ^h	12 ^h	12 ^h
9. Dinding geser pracetak biasa	4	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit dengan	8	2	4	TB	TB	48	48	30

Lanjutan Tabel 3.8 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk system penahan gaya gempa

11.Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4%	TB	TB	48	48	30
12.Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
13.Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6%	2%	5%	TB	TB	48	48	30
14.Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2%	5	TB	TB	48	48	30
15.Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2%	4%	TB	TB	TI	TI	TI
16.Dinding geser batu bata bertulang khusus	5%	2%	4	TB	TB	48	48	30
17.Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2%	4	TB	TB	TI	TI	TI
18.Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2%	2	TB	48	TI	TI	TI
19.Dinding geser batu bata polos didetail	2	2%	2	TB	TI	TI	TI	TI
20.Dinding geser batu bata polos biasa	1%	2%	1%	TB	TI	TI	TI	TI
21.Dinding geser batu bata prategang	1%	2%	1%	TB	TI	TI	TI	TI
22.Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2%	4%	TB	TB	22	22	22
23.Dinding rangka ringan (baja canal dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2%	4%	TB	TB	22	22	22
24.Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2%	2%	2%	TB	TB	10	TB	TB
25.Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2%	5	TB	TB	48	48	30
26.Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C.Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5%	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4%	3	4	TB	TB	10 ^{a,j}	TI ^b	TI ^c
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3%	3	3	TB	TB	TI ^b	TI ^b	TI ^c
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
10.Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5%	48	48	30	TI	TI
11.Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3%	3 ^d	3%	10	10	10	10	10

Lanjutan Tabel 3.8 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk system penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^h	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2½	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5½	2½	4½	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3½	2½	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan betonkomposit biasa	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa	5½	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
F. Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa	4½	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1¼	1¼	1¼	10	10	TI	TI ^{h,j}	TI ^{h,j}
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1¼	1¼	1¼	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1¼	1	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	1¼	1¼	1¼	10	10	10	TI	TI
H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

(Sumber: SNI 1726:2019 tabel 12)

Keterangan :

TB = Tidak Dibatasi

TI = Tidak Diizinkan

3.1.9 Menentukan perioda fundamental pendekatan (T_a)

Pada fundamental struktur, T , dalam arah yang dilihat harus didapat dengan memakai properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang diuji. Fundamental pendekatan, T_a , dapat digunakan berdasarkan persamaan (3-9) dan tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan pada perioda hitung (C_u) pada tabel 3.10

Perioda fundamental pendekatan, T_a , dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$T_a = C_t h^n \quad (3-9)$$

n

Keterangan :

T_a = perioda fundamental struktur
 h_n = ketinggian struktur

C_t dan x ada pada tabel 3.9

Tabel 3.9 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang diisyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

(Sumber: SNI 1726:2019 tabel 18)

Tabel 3.10 Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda 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: SNI 1726:2019 tabel 17)

3.1.10 Perhitungan koefisien respons seismik (C_s)

Rumus koefisien respons seismik dijabarkan pada persamaan (3-10) , (3-11) , (3-12) dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Jika $T \leq T_s$ maka,

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-10)$$

2. Jika $T > T_s$ maka,

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-11)$$

3. C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3-12)$$

4. Apabila $S_1 \geq 0,6g$, maka C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-13)$$

Keterangan :

- I_e = faktor keutamaan gempa yang didapat dari tabel 3.8
- R = faktor modifikasi respons dalam tabel 3.8
- S_{D1} = parameter percepatan spectrum respons desain pada 1 detik
- T = perioda fundamental struktur
- S_1 = parameter percepatan spectrum maksimum

3.1.11 Menghitung geser dasar seismic (V)

Gaya geser dasar seismic dihitung dengan persamaan (3-14) dengan ketentuan sebagai berikut :

$$V = C_s W \quad (3-14)$$

Keterangan :

- W = berat seismic efektif

3.1.12 Kombinasi pembebanan

Kombinasi beban yang digunakan berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 4.2.2 dan 7.4, serta SNI 2847:2019 pasal 5.3 sebagai berikut:

$$1,4 D \quad (3-15)$$

$$1,2 D + 1,6 L \quad (3-16)$$

$$(1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L + \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3-17)$$

$$(1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L + \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3-18)$$

$$(1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L - \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3-19)$$

$$(1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L - \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3-20)$$

$$(1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L + \rho 0,3 E_x + \rho E_y \quad (3-21)$$

$$(1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L + \rho 0,3 E_x - \rho E_y \quad (3-22)$$

$$(1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L - \rho 0,3 E_x + \rho E_y \quad (3-23)$$

$$(1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L - 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3-24)$$

$$(0,9 - 0,2S_{DS})D + \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3-25)$$

$$(0,9 - 0,2S_{DS})D + \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3-26)$$

$$(0,9 - 0,2S_{DS})D - \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3-27)$$

$$(0,9 - 0,2S_{DS})D - \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3-28)$$

$$(0,9 - 0,2S_{DS})D + \rho 0,3 E_x + \rho E_y \quad (3-29)$$

$$(0,9 - 0,2S_{DS})D + 0,3 \rho - \rho E_y \quad (3-30)$$

$$(0,9 - 0,2S_{DS})D - 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3-31)$$

$$(0,9 - 0,2S_{DS})D - 0,3 \rho - \rho E_y \quad (3-32)$$

3.2 Kekuatan Desain Berdasarkan SNI 2847:2019

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 5.3, faktor reduksi kekuatan (ϕ) dikalikan dengan kekuatan nominal yang digunakan untuk mengetahui kekuatan desain yang terdapat pada komponen struktur, dimana regangan tarik netto pada baja tarik terluar sebagai faktor dari besarnya faktor reduksi kekuatan. Kondisi terkendali tekan terjadi apabila regangan tarik netto dalam baja tarik terjauh (ϵ_t) sama dengan atau kurang dari batas regangan terkontrol tarik. Batas regangan terkendali tekan yaitu 0,002 untuk tulangan mutu 420 MPa dan semua tulangan prategang. Sedangkan kondisi terkendali tarik terjadi apabila regangan tarik netto dalam baja tarik terjauh (ϵ_t) sama dengan atau lebih besar dari batas regangan 0,005. Kondisi dimana regangan tarik netto dalam baja tarik terjauh (ϵ_t) diantara batas regangan tekan (0,002) dan batas regangan tarik (0,005) disebut kondisi transisi.

3.3 Perancangan Struktur Atas

Struktur atas pada bangunan terdiri dari pelat, kolom, dan balok yang akan dibahas pada landasan teori.

3.3.1 Pelat Lantai

Penulangan pelat lantai dibagikan menjadi 2 yaitu pelat dengan penulangan pokok satu arah dan pelat dengan penulangan pokok dua arah berdasarkan SNI 2847:2019.

1. Pelat satu arah

Menurut SNI 2847:2019 pasal 7, pelat penulangan pokok satu arah dapat diketahui dengan menggunakan rumus (3-33):

$$\frac{l_y}{l_x} > 2 \quad (3-33)$$

Keterangan :

L_y = bentang terpanjang pelat

L_x = bentang yang tegak lurus dengan bentang pelat terpanjang

Tebal minimum (h_{min}) pelat satu arah pada tabel 3.11 berlaku apabila pelat tidak dapat menahan lendutan yang besar karena tidak menumpu dan tidak disatukan dengan partisi lain.

2. Pelat dua arah

Menurut SNI 2847:2019 pasal 8, pelat penulangan pokok dua arah dapat diketahui dengan menggunakan rumus (3-34):

$$\frac{l_y}{l_x} \leq 2 \quad (3-34)$$

Keterangan :

L_y = bentang terpanjang pelat

L_x = bentang yang tegak lurus dengan bentang pelat terpanjang

Tebal minimum (h_{min}) pelat dua arah pada tabel 3.11 harus memiliki kondisi pelat dengan balok yang membentang ditumpuan pada semua sisinya dengan harus memenuhi ketentuan:

- a. Bila $\alpha_m \leq 0,2$, tebal minimum pelat (h_{min}) diambil dari tabel 9.5(c) SNI 2847:2019
- b. Bila $0,2 < \alpha_m \leq 2,0$, maka tebal minimum pelat (h_{min}) harus memenuhi persamaan (3-35), yaitu:

$$h_{min} = \frac{\ln(0.8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)} \geq 125\text{mm} \quad (3-35)$$

- c. Bila $\alpha_m > 2,0$, maka tebal minimum pelat (h_{min}) harus memenuhi persamaan (3-36), yaitu:

$$h_{\min} = \frac{\ln\left(0.8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \geq 90\text{mm} \quad (3-36)$$

Keterangan:

β = rasio bentang bersih terpanjang dengan bentang bersih terpendek pelat

l_n = bentang bersih terpanjang pelat

f_y = kekuatan leleh tulangan yang diisyaratkan (MPa)

α_m = rata-rata rasio kekakuan pelat, diperoleh dari:

$$\alpha_m = \frac{\sum \alpha}{n} \quad (3-37)$$

α = rasio kekakuan pelat yang dihitung sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{EcI_c \text{ balok}}{EcI_c \text{ pelat}} \quad (3-38)$$

Tabel 3.11 Tebal Minimum Pelat

Komponen struktur	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar.			
Pelat masif satu arah	1 / 20	1 / 24	1 / 28	1 / 10
Balok atau pelat rusuk satu-arah	1 / 16	1 / 18,5	1 / 21	1 / 8
CATATAN :				
Panjang bentang dalam mm.				
Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut:				
(a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (<i>equilibrium density</i>), w_c , di antara 1440 sampai 1840 kg/m ³ , nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09.				
(b) Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.				

(Sumber: SNI 1726:2019 tabel 7.3.1.1)

3.3.2 Balok

Hal yang harus dilakukan saat melakukan perhitungan balok antara lain:

1. Mengestimasi dimensi balok

Ukuran pada balok adalah lebar (b) dan tinggi (h), kedua hal tersebut memiliki ketentuan sebagai berikut:

- Lebar pada balok (b) harus memiliki besar diantara:

$$1/2 h \text{ sampai } 2/3 h \quad (3-39)$$

- Tinggi pada balok (h) harus memiliki besar berkisar antara:

$$1/15 L \text{ sampai } 1/10 L \quad (3-40)$$

Keterangan :

L = Panjang bentang balok

1/10 L biasa digunakan pada tumpuan sendi roll sedangkan 1/15L untuk tumpuan jepit.

2. Penulangan balok

a. Tulangan Longitudinal

Pada SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2 menjelaskan bahwa tulangan minimum pada komponen struktur lentur tidak boleh kurang dari nilai yang diberikan oleh :

$$A_{s,min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (3-41)$$

dan persamaan tersebut tidak boleh lebih kecil dari

$$\frac{1.4 b_w d}{f_y} \quad (3-42)$$

Keterangan :

$A_{s,min}$ = luas minimum tulangan lentur

b_w = lebar balok

d = jarak dari serat terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal

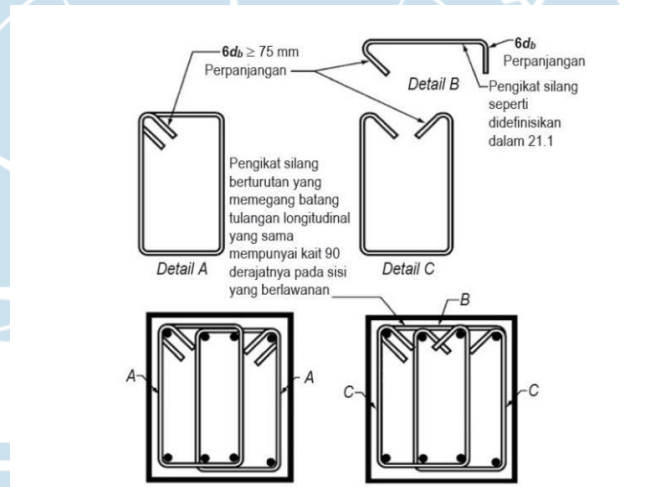
f'_c = kekuatan tekan beton

f_y = kekuatan leleh tulangan

b. Tulangan geser

Pada SNI 2847:2019 pasal 9.6.3 menjelaskan bahwa pada suatu komponen struktur tulangan geser (sengkang) harus dipasang. Spasi sengkang tidak boleh melebihi dari yang terkecil dari tiga ketentuan berikut ini:

- 1) 150 mm
- 2) $\frac{d}{4}$
- 3) 6x diameter terkecil batang tulangan lentur dan tidak termasuk tulangan kulit longitudinal



Gambar 3.2 Sengkang Tertutup Saling Tumpuk

c. Tulangan torsi

Pada SNI 2847:2019 pasal 9.6.4 menjelaskan bahwa spasi maksimum tulangan torsi transversal melebihi yang kecil dari :

- 1) $p_h/8$
- 2) 300mm

Keterangan :

p_h = Keliling garis pusat tulangan torsi transversal tertutup terluar

3.3.3 Kolom

d. Tulangan longitudinal

Menurut SNI 2847:2019 pasal 10.6.1 menyatakan bahwa tulangan longitudinal (A_{st}) tidak boleh lebih kecil dari $0,01A_g$ atau lebih besar dari $0,06A_g$. Batas minimum untuk tulangan spiral harus menggunakan 6 tulangan longitudinal.

e. Tulangan geser

Menurut SNI 2847:2019 pasal 10.6.2, Luas minimum tulangan geser (A_{vmin}) harus terdapat di semua wilayah, A_{vmin} harus lebih besar daripada :

$$A_{vmin} > 0.062 \sqrt{f'_c} \frac{bw s}{f_{yt}} \quad (3-45)$$

Dan juga harus lebih besar dari :

$$A_{vmin} > 0.35 \frac{bw s}{f_{yt}} \quad (3-46)$$

Pada SNI 2847:2013 pasal 10.7.6.5 batas untuk spasi tulangan geser adalah $d/2$ untuk komponen struktur non prategang dan $0.75h$ untuk komponen struktur prategang, dapat juga 600mm.

3.4 Perancangan Fondasi Borepile

3.4.1 Daya dukung ultimit

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \quad (3-51)$$

Keterangan:

Q_u = daya dukung ultimit (kN)

W_p = berat tiang borepile (kN)

Q_b = tahanan ujung ultimit (kN)

Q_s = tahanan gesek ultimit (kN)

3.4.2 Tahanan ujung ultimit

Tahanan ujung ultimit dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_b = F_b A_b \quad (3-52)$$

$$f_b = 0,60 \sigma_T N_{60} = 60 N_{60} \leq 4500 \text{ kPa} \quad (3-53)$$

Keterangan:

- A_b = luas dasar tiang (m^2)
- f_b = tahanan ujung neto per satuan luas (kPa)
- f_{br} = reduksi f_b
- N_{60} = nilai N-SPT rata-rata antara ujung bawah tiang bor sampai $2d_b$ dibawahnya
- d_b = diameter ujung bawah tiang (m)
- d_r = lebar referensi (300mm)
- σ_T = tegangan referensi (100 kPa)

3.4.3 Tahanan gesek ultimit

Tahanan gesek satuan tiang borepile dapat dinyatakan pada persamaan:

$$F_s = \beta p_o' \quad (3-54)$$

$$\beta = 2 - 0,15 (z)^{0,75} \text{ dengan } 0,25 \leq \beta \leq 1,2 \quad (3-55)$$

Keterangan:

- f_s = tahanan gesek satuan (kN/m^2)
- p_o' = tekanan *overburden* di tengah lapisan tanah (kN/m^2)
- z = kedalaman di tengah lapisan tanah (m)

3.4.4 Fondasi kelompok tiang

Daya dukung dan jumlah tiang dalam kelompok ditentukan dengan persamaan:

$$Q_{ag} = \eta N Q_u \quad (3-56)$$

$$(n) = \frac{N}{\text{pi tiang}} \quad (3-57)$$

Sedangkan efisiensi kelompok tiang didapat dengan perhitungan persamaan:

$$\eta = 1 - \frac{\theta}{90^\circ} \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn} \right) \quad (3-58)$$

Keterangan:

- η = efisiensi
- m = jumlah deret borepile
- n = jumlah borepile dalam tiap deret
- θ = $\arctan(d/s)$
- Q_{ag} = daya dukung kelompok tiang
- Q_a = daya dukung tiang tunggal
- N = beban normal

Jarak pada tiang dalam suatu kelompok harus ditentukan. Jarak antar tiang berkisar 2-3 diameter tiang. Tentunya banyak tiang mempengaruhi ukuran pile cap. Jarak minimum tiang dapat dihitung dengan:

$$s = 2,5d + 0.02L \quad (3-59)$$

Keterangan:

- s = jarak minimum tiang (m)
- d = diameter tiang (m)
- L = kedalaman penetrasi tiang (m)

Gaya vertical yang terjadi pada tiang dihitung dengan:

$$Q_v = \frac{V}{n} \pm \frac{My}{\sum x^2} \pm \frac{Mx}{\sum y^2} \quad (3-60)$$

Keterangan:

Q_v = beban vertical pada tiang
 n = jumlah tiang
 x, y = jarak tiang terhadap sumbu x dan y
 M_x, M_y = momen terhadap sumbu x dan y

3.4.5 Stabilitas fondasi terhadap beban lateral

Dalam merancang fondasi harus menghitung beban lateral. Beban lateral tergantung pada kekakuan atau tipe tiang, penanaman ujung tiang ke pile cap, sifat gaya-gaya, dan besar defleksi. Dalam merancang fondasi tiang terhadap adanya gaya lateral, tidak diizinkan mengalami defleksi yang terlalu besar.

Defleksi lateral tiang dengan ujung jepit dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$y_o = \frac{0,93H}{(nh)^{3/5}(EpIp)^{2/5}} \quad (3-61)$$

Keterangan:

nh = koefisien variasi modulus (tercantum pada tabel 3.12)
 E_p = modulus elastisitas tiang
 I_p = momen inersia tiang
 H = beban lateral

Tabel 3.12 Nilai n_h untuk Tahan Granuler

Kerapatan relatif	Tak padat	Sedang	Padat
Interval nilai A	100-300	300-1000	1000-2000
Nilai A dipakai	200	600	1500
n_h , pasir kering atau lembab (Terzaghi) (kN/m ³)	2425	7275	19400
n_h , pasir terendam air (Reese) (kN/m ³)	5300	16300	34000

3.4.6 Penulangan fondasi

Fondasi borepile dalam merancang tulangan harus memenuhi syarat pada persamaan :

$$\phi P_n \geq P_u \quad (3-62)$$

Faktor reduksi (ϕ) untuk tulangan spiral adalah 0,75 dan sengkang 0,65 , sedangkan untuk tulangan spiral dan sengkang menghitung kekuatan nominal dengan persamaan:

- 1) Penulangan spiral

$$P_n = 0,85 \phi [0,85 f'c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (3-63)$$

- 2) Penulangan sengkang

$$P_n = 0,8 \phi [0,85 f'c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (3-64)$$

Keterangan :

A_g = luas penampang tiang borepile (m²)
 A_{st} = luas tulangan (m²)