

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Teori Pembebanan

3.1.1. Kekuatan perlu (u)

Berdasarkan SNI 2847; 2013, kuat perlu adalah kekuatan komponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam terkait dalam kombinasi seperti ditetapkan. Kekuatan perlu U harus paling tidak sama dengan pengaruh beban terfaktor dalam beberapa persamaan di bawah ini. Pengaruh salah satu atau lebih beban yang tidak bekerja secara serentak harus diperiksa (beban S (salju) dalam persamaan di bawah ini dihapus Karena tidak relevan):

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

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

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

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

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

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

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

Kecuali sebagai berikut:

1. Faktor beban pada beban L pada pers. (3-3) sampai (3-5) diizinkan direduksi sampai 0,5 kecuali untuk garasi, luasan yang ditempati sebagai tempat perkumpulan publik, dan semua luasan dimana L lebih besar dari $4,8 \text{ kN/m}^2$.
2. Bila W didasarkan pada beban angin tingkat layan, $1,6 W$ harus digunakan sebagai pengganti dari $1,0 W$ dalam pers. (3-4) dan (3-6), dan $0,8 W$ harus digunakan sebagai pengganti dari $0,5 W$ dalam pers. (3-3).
3. Dihilangkan karena tidak relevan.

3.1.2. Kekuatan desain

Berdasarkan SNI 2847-2013, kekuatan desain yang disediakan oleh suatu struktur, sambungannya dengan kekuatan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi yang distandarkan, yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan ϕ , sebagai berikut:

Tabel 3.1 Tabel Faktor Reduksi Kekuatan Desain

No	Keterangan	Faktor Reduksi Kekuatan
1	Penampang terkendali tarik	0,90
2	Penampang terkendali tekan: a. Komponen struktur dengan tulangan spiral b. Komponen struktur bertulangan lainnya	0,75 0,65
3	Geser dan torsi	0,75
4	Tumpuan pada beton (kecuali untuk daerah angkur pasca tarik dan model <i>strat</i> dan pengikat)	0,65

(Lanjutan) Tabel 3.1 Tabel Faktor Reduksi Kekuatan Desain

5	Daerah angkur pasca tarik	0,85
6	Model <i>strut</i> dan pengikat, dan <i>strut</i> , pengikat, daerah pertemuan (<i>nodal</i>), dan daerah tumpuan dalam model tersebut	0,75
7	Penampang lentur dalam komponen struktur pratarik dimana penanaman <i>stand</i> kurang dari panjang penyaluran: a. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer b. Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran ϕ boleh ditingkatkan secara linier dari	0,75 0,75 – 0,90

3.2 Perencanaan Beban Gempa

Pengaruh beban gempa yang bekerja pada struktur ditentukan berdasarkan SNI 1726: 2012, pasal 8.3.1:

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban (3-5), E harus ditentukan sesuai dengan persamaan:

$$E = E_h + E_v \dots\dots\dots (3-8)$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban (3-7), E harus ditentukan sesuai dengan persamaan:

$$E = E_h - E_v \dots\dots\dots (3-9)$$

dengan:

E = pengaruh beban gempa

E_v = pengaruh gaya gempa vertikal

E_h = pengaruh gaya gempa horizontal

dimana pengaruh beban gempa horizontal dan vertikal ditentukan dengan persamaan:

$$E_h = Q_E \dots\dots\dots (3-10)$$

$$E_v = 0,2S_{DS}D \dots\dots\dots (3-11)$$

dengan:

Q_E = pengaruh gaya gempa horizontal dari V atau V_p ,

S_{DS} = parameter percepatan respon spektrum desain pada periode pendek

D = pengaruh beban mati.

Pada perhitungan ini berlaku pengecualian E_v diijinkan diambil sebesar nol untuk salah satu kondisi berikut:

1. Dalam persamaan (3-8) dan (3-9) S_{DS} sama dengan atau kurang dari 0,125
2. Dalam persamaan (3-9) jika menentukan kebutuhan muka-kontak tanah-struktur pada fondasi.

3.2.1. Perhitungan beban gempa berdasarkan SNI 1726: 2012

a. Menentukan S_S dan S_1 berdasarkan lokasi bangunan.

Nilai S_S dan S_1 dapat ditentukan berdasarkan web desain spektra Indonesia:

[http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain spektra indonesia 2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain Spektra Indonesia 2011/)

b. Menentukan klas situs (*site class*), F_a dan F_v .

Penentuan kelas situs didasarkan pada pasal 5.1 SNI 1726: 2012.

Profil tanah di situs diklasifikasikan sesuai dengan tabel 3.2 berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas.

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 - 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	3500 - 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 - 350	15 - 50	50 - 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan infestigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah dilikuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah 2. Lempung sangat organik dan/ atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan inddeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

(Tabel 3-SNI 1726: 2013)

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

Nilai beberapa parameter yang disebutkan di atas dihitung sebagai berikut:

1. Kecepatan rata-rata gelombang geser, $\bar{v}_s$

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}} \quad (3-12)$$

Keterangan:

d_i = tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 sampai 30 m

v_{si} = kecepatan gelombang lapisan i , dinyatakan dalam
m/det

$$\sum_{i=1}^n d_i = 30 \text{ m}$$

2. Tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata, $\bar{N}$, dan tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah non-kohefif, $\bar{N}_{ch}$

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (3-13)$$

Dimana N_i dalam d_i dalam persamaan berlaku untuk tanah non-kohefif, tanah kohefif, dan lapisan batuan.

$$\bar{N}_{ch} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^m \frac{d_i}{N_i}} \quad (3-14)$$

Dimana N_i dan d_i dalam persamaan berlaku untuk tanah non-kohefif saja,

$$\sum_{i=1}^m d_i = d_s, \quad (3-15)$$

$$\sum_{j=1}^m d_i = d_s \quad (3-16)$$

Keterangan:

d_s = ketebalan total dari lapisan tanah non-kohefif di 30 m lapisan paling atas

N_i = tahanan penetrasi standar 60 persen energi (N_{60}) yang terukur langsung di lapangan tanpa koreksi, dengan nilai tidak lebih dari 305 pukulan/m. (jika ditemukan perlawanan lapisan batuan, maka nilai N_i tidak boleh diambil lebih dari 305 pukulan/m.

3. Kuat geser niralir rata-rata, $\bar{s}_u$

$$\bar{s}_u = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^k \frac{d_i}{s_{ui}}} \quad (3-17)$$

dimana

$$\sum_{i=1}^k d_i = d_c \quad (3-18)$$

Keterangan:

d_c = ketebalan total dari lapisan-lapisan tanah kohesif di dalam lapisan 30 m paling atas

PI = indeks plastisitas, berdasarkan tata cara yang berlaku

w = kadar air dalam persen, sesuai tata cara yang berlaku

s_{ui} = kuat geser niralir (kPa), dengan nilai tidak boleh lebih dari 250 kPa seperti yang ditentukan dan sesuai dengan tata cara yang berlaku.

c. Menghitung S_{MS} dan S_{M1} .

$$S_{MS} = F_a S_s \dots\dots\dots (3-19)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \dots\dots\dots (3-20)$$

d. Menghitung S_{DS} dan S_{D1} .

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (3-21)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (3-22)$$

Jika digunakan prosedur desain yang disederhanakan, maka nilai S_{DS} harus ditentukan dengan persamaan $S_{DS} = \frac{2}{3} F_a S_s$ dimana F_a boleh diambil sebesar 1,0 untuk situs batu, 1,4, untuk situs tanah, atau ditentukan sesuai dengan tabel keefisien situs, F_a . Dalam hal ini, situs boleh dianggap sebagai batu jika terdapat tidak lebih dari 3 m tanah antara permukaan batu dan dasar fondasi telapak atau fondasi tika. S_s harus ditetapkan dari respon spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi, tetapi tidak perlu diambil lebih besar dari 1,5.

Tabel 3.3 koefisien situs, f_a

Kelas situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) 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				

(Tabel 4 SNI 1726: 2012)

Catatan:

- Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
- SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Tabel 3.3 koefisien situs, f_v

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

(Tabel 5 SNI 1726: 2012)

Catatan:

- Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
- SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

e. **Menentukan Kategori Resiko (*Risk Category*).**

Kategori resiko struktur bangunan gedung dan non gedung ditentukan berdasarkan tabel 3.5.

Tabel 3.5 Kategori resiko bangunan gedung dan non-gedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
Gedung dan non-gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk, antara lain: – Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, 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/ <i>mall</i> – Bangunan industry – 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 – Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat – Fasilitas penitipan anak – Penjara – Bangunan untuk orang jompo Gedung dan non-gedung, tidak termasuk ke dalam kategori risiki IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/ atau	III

(Lanjutan) Tabel 3.5 Kategori risiko bangunan gedung dan non-gedung untuk beban gempa

gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak 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 sudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III
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 darurat – Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat – Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan lainnya – Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat – 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	IV

(Lanjutan) Tabel 3.5 Kategori risiko bangunan gedung dan non-gedung untuk beban gempa

– struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan non-gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	
---	--

(Tabel 1-SNI 1726: 2012)

Berdasarkan SNI 1726: 2012 pasal 4.1.2, untuk berbagai kategori faktor resiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai tabel pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e . Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori resiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori resiko IV.

f. Menentukan Kategori Desain Seismik (SDC = *Seismic Design Category*).

Kategori Desain Seismik ditentukan berdasarkan SNI 1726: 2012, pasal 6.5. Struktur dengan kategori resiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori resiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori

desain seismik F. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada tabel 3.6 dan 3.7, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur, T .

Tabel 3.6 Kategori desain seismik sesuai dengan parameter respons percepatan pada periode pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 < S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} \leq 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Tabel 6-SNI 1726: 2012)

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
$0,167 < S_{D1} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{D1} \leq 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{D1}$	D	D

(Tabel 7-SNI 1726: 2012)

Apabila S_1 lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik (KDS) diizinkan untuk ditentukan sesuai tabel 3.6 saja, dimana berlaku semua ketentuan di bawah:

1. Pada masing-masing 2 arah orthogonal, perkiraan periode fundamental struktur, T_a , adalah kurang dari $0,8 T_s$.

$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots (3-23)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (3-24)$$

2. Pada masing-masing 2 arah orthogonal, periode fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar lantai adalah kurang dari T_s .

3. Koefisien respons seismik, C_s , dihitung menggunakan persamaan:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots\dots\dots (3-25)$$

4. Diafragma struktural adalah kaku, dimana diafragma pelat beton atau dek metal yang diberi penutup (*topping*) beton dengan perbandingan S/D_e sebesar 3 atau kurang pada struktur tanpa ketidakberaturan horizontal, atau untuk diafragma yang fleksibel, jarak antar elemen-elemen penahan gaya gempa tidak melebihi 12 m.

Apabila digunakan alternatif prosedur prosedur penyederhanaan desain, kategori desain seismik diperkenankan untuk ditentukan dalam tabel 6, dengan menggunakan nilai S_{DS} dari persamaan di langkah 4

- g. Menentukan sistem struktur dan parameter struktur berdasarkan KDS.**

Sistem penahan gaya gempa lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan dalam Tabel 9 SNI 1726: 2012 atau kombinasi sistem seperti yang dijelaskan dalam pasal 7.2.2,

7.2.3, dan 7.2.4. Koefisien modifikasi respons yang sesuai, R , faktor kuat lebih sistem, Ω_0 , dan koefisien amplifikasi defleksi, C_d , harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar lantai tingkat desain. Nilai parameter-parameter di atas ditentukan berdasarkan tabel 9 SNI 1726: 2012.

h. Menentukan Faktor Keutamaan (*Importance Factor*): I_e .

Faktor keutamaan, I_e , ditentukan berdasarkan tabel 3.8.

Tabel 3.8 Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

(Tabel 2-SNI 1726: 2012)

i. Menentukan Periode Fundamental.

Nilai periode fundamental ditentukan berdasarkan perhitungan dan perbandingan beberapa parameter. Nilai T didapat dengan 2 pendekatan, yaitu melalui perhitungan menggunakan komputer, T_c , dan melalui perhitungan dengan formula pendekatan,

$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots (3-26)$$

Nilai C_t dan x ditentukan berdasarkan tabel 3.9.

Tabel 3.9 Nilai parameter periode pendekatan

Tipe struktur	C_t	α
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen momen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0274 ^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)

$$T_a < T_c < C_u T_a$$

Nilai C_u ditentukan berdasarkan tabel 3.10

Tabel 3.10 Koefisien untuk batas atas periode 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)

Nilai T yang terpakai adalah yang terkecil.

j. Menentukan Faktor Respons Gempa (*Seismic Response Factor*).

Nilai C_s diperoleh dari pengembangan kurva respons spektrum

$$C_s = S_{DS} / (R/I_e) \dots\dots\dots (3-27)$$

$$C_s = S_{D1} / [T(R/I_e)] \dots\dots\dots (3-28)$$

$$T_s = S_{D1} / S_{D1} \dots\dots\dots (3-29)$$

Nilai T diambil dari hasil perhitungan langkah 9.

$$C_s \text{ min} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots (3-30)$$

$$C_s \text{ min} = 0,0100 \dots\dots\dots (3-31)$$

$$C_s \text{ min} = 0,5 S_1 / (R/I_e) \text{ (hanya untuk } S_1 \geq 0,6g \text{)} \dots\dots\dots (3-32)$$

$$S_1(g) = 0,444$$

Nilai C_s yang dipakai adalah yang terbesar.

k. Menghitung gaya geser gempa (*Base Shear*).

Gaya geser gempa dasar yang dipakai didapat dengan

$$V = C_s W \dots\dots\dots (3-33)$$

3.3 Perencanaan Struktur

3.1.1. Perencanaan pelat

a. Perencanaan pelat satu arah.

Langkah perancangan pelat satu arah sebagai berikut:

1. Perencanaan pelat satu arah berdasarkan ketentuan pasal 9.5.2, SNI 2847: 2013. Tebal minimum pelat satu arah ditentukan pada tabel 3.11.

Tabel 3.11 Tebal minimum pelat satu-arah

Komponen Struktur	Tebal minimum, h			
	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	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Keterangan:				
a. Panjang bentang dalam mm				
b. untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan ($0,4 + f_y / 700$)				

(Tabel 9.5(a)-SNI 2847: 2013)

2. Asumsi tinggi efektif pelat dengan persamaan:

$$d = h - d_s \quad (d_s = 25 - 30 \text{ mm})$$

3. Kuat geser beton pada perencanaan pelat dihitung dengan asumsi pelat dikenai geser dan lentur saja.

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_wd \dots\dots\dots (3-34)$$

Dengan λ adalah faktor modifikasi yang merefleksikan property mekanis tereduksi dari beton ringan, semua relatif terhadap beton normal

dengan kuat tekan yang sama. Berdasarkan pasal 8.6.1, SNI 2847: 2013, nilai λ untuk beton normal sama dengan 1,0.

4. Nilai kuat geser beton yang dihitung harus memenuhi persamaan:

$$\phi V_c \geq V_u \quad \dots\dots\dots (3-35)$$

dengan ($\phi = 0,75$)

5. Rasio penulangan

Rasio penulangan ditentukan dengan persamaan:

$$\rho = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 f'_c}} \right) \quad \dots\dots\dots (3-36)$$

Rasio penulangan maksimum dihitung dengan persamaan:

$$\rho_{maks} = 0,75 \rho_b \quad \dots\dots\dots (3-37)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f'_c \beta_1}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} \quad \dots\dots\dots (3-38)$$

Dengan:

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{M_u}{\phi bd^2} \quad \dots\dots\dots (3-39)$$

R_n = koefien tahanan

b = 1000 mm

ϕ = (diasumsikan) 0,9

Jika $\rho > \rho_{maks}$, maka tebal pelat diperbesar.

6. Luas tulangan tarik dihitung dengan:

$$A_s = \rho bd \quad \dots\dots\dots (3-40)$$

Nilai A_s tidak boleh kurang dari $A_{s,min}$ yang ditetapkan pada SNI 2847: 2013, pasal 10.5.4 dan pasal 7.12.2.1

b. Perencanaan pelat 2 arah.

Perencanaan pelat dua arah umumnya mengikuti langkah-langkah berikut:

1. Tebal minimum pelat

Berdasarkan ketentuan SNI 2847: 2013, pasal 9.5.3.3, untuk pelat dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya, h , harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

a). Untuk $a_{fm} \leq 0,2$, mengikuti tabel 3.12

Tabel 3.12 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	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 40$	$\ell_n / 40$
420	$\ell_n / 30$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$
520	$\ell_n / 28$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 34$	$\ell_n / 34$

(9.5 (c)-SNI 2847: 2013)

Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.

- b). Untuk $0,2 < a_{fm} \leq 2,0$, h tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(a_{fm} - 0,2)} \dots\dots\dots (3-41)$$

Dan tidak boleh kurang dari 125 mm.

- c). Untuk $a_{fm} > 0,2$, h tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \dots\dots\dots (3-42)$$

Dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

- d). Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan a_f tidak kurang dari 0,8, atau sebagai alternatif ketebalan minimum pada (b) dan (c) harus dinaikkan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

$$a_f = \frac{E_c I_{c \text{ balok}}}{E_c I_{c \text{ pelat}}} \dots\dots\dots (3-43)$$

$$a_{fm} = \frac{\sum a_f}{n} \dots\dots\dots (3-44)$$

Keterangan:

a_f = rasio kekuatan pelat

a_{fm} = Nilai rata-rata a untuk semua balok pada tepi panel

n = jumlah balok pada tepi panel

E_c = Modulus elastisitas beton

I_c = Momen inersia efektif

β = rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap pendek pelat

ℓ_n = panjang bentang bersih dalam arah panjang diukur muka ke muka balok.

2. Momen lentur akibat beban terfaktor (M_u), dihitung dengan bantuan tabel koefisien momen PBI 1971

$$M_u = 0,001 w_u l_x x \dots\dots\dots (3-45)$$

Keterangan:

w_u = beban per-satuan luas

l_x = bentang terpendek pelat

x = koefisien momen.

3. Gaya geser akibat beban terfaktor dihitung dengan persamaan:

$$V_u = \frac{1,15 w_u l_n}{2} \dots\dots\dots (3-46)$$

Gaya geser sepenuhnya dipikul oleh beton dengan syarat

$$\phi V_c \geq V_u \dots\dots\dots (3-47)$$

Jika syarat kuat geser tidak terpenuhi maka tebal pelat harus diperbesar.

4. Tulangan longitudinal pelat dihitung seperti pada pelat satu arah, hanya dihitung dua kali pada bentang panjang dan bentang pendek dengan tulangan arah bentang pendek diletakkan pada sisi terluar.

5. Syarat spasi tulangan diatur pada SNI 2847: 2013, pasal:

- a). 7.6.5: tulangan lentur utama harus berspasi $s \leq 3h$, ataupun $s \leq 450mm$
- b). 7.12.2.2: tulangan susut dan suhu harus dipasang dengan spasi $s \leq 5h$
atau $s \leq 450mm$

3.1.2. Perencanaan balok

Tahapan dalam perencanaan balok adalah:

a. Analisis pendahuluan, penentuan dimensi.

Analisis pendahuluan hanya perlu menyediakan momen maksimum dan gaya lintang sehubungan dengan penetapan dimensi-dimensi yang masuk akal, antara lain:

1. Selimut beton

Untuk dimensi selimut beton dalam perencanaan ini penulis menggunakan tebal selimut yang digunakan pada proyek struktur pada umumnya, yaitu ± 40 mm sebagaimana dikategorikan oleh Moesly untuk lingkungan berkategori keras, yang beresiko tersiram hujan lebat, mengalami pergantian panas dan dingin; kadang-kadang pembekuan atau kondensasi yang hebat.

2. Lebar (b)

Lebar balok umumnya digunakan di lapangan ditentukan dengan:

$$b = \frac{1}{2}h - \frac{2}{3}h \dots\dots\dots (3-48)$$

3. Tinggi efektif (d)

Perkiraan tinggi efektif balok d dihitung dengan:

$$d = h - d_s \quad (d_s \approx 60-80\text{mm}) \dots\dots\dots (3-49)$$

4. Tinggi keseluruhan (h)

Tinggi keseluruhan balok yang umumnya dipakai di lapangan

$$h = \frac{1}{10}L - \frac{1}{15}L \dots\dots\dots (3-50)$$

Berdasarkan Tabel 9.5 pada SNI 2847: 2013, tebal minimum balok bila lendutan tidak dihitung,

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \dots\dots\dots (3-51)$$

b. Analisis dan perencanaan detail tulangan.

Pada balok, dihitung 2 macam tulangan, yaitu tulangan longitudinal balok dan tulangan geser balok.

1. Perhitungan tulangan longitudinal balok

Nilai momen lentur akibat beban terfaktor (M_u) diperoleh dari hasil analisis struktur dengan bantuan program ETABS.

ρ dipilih dari nilai terbesar antar ρ_{perlu} dan $\rho_{\min}$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \dots\dots\dots (3-52)$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y} \text{ atau } \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots (3-53)$$

Luas tulangan yang dibutuhkan pada komponen struktur lentur adalah

$$A_{s_{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d \quad \dots\dots\dots (3-54)$$

Berdasarkan SNI 2847: 2012, pasal 10.5.1, A_s yang tersedia tidak boleh kurang dari nilai yang diberikan oleh

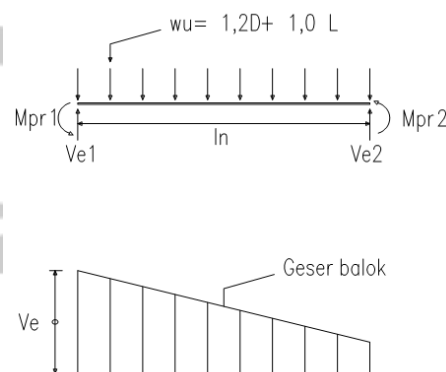
$$A_{s,min} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad \dots\dots\dots (3-55)$$

dan tidak lebih kecil dari $1,4b_w d/f_y$.

Jumlah tulangan yang dibutuhkan diperoleh dari A_s / luas satu buah tulangan dengan pembulatan ke atas.

2. Perhitungan tulangan geser balok

Berdasarkan ilustrasi gambar 21.5.4 geser desain untuk balok pada SNI 2847:2013, perencanaan tulangan geser balok sebagai berikut.



Gambar 3.1-geser desain untuk balok

(Gambar S21.5.4-SNI 2847: 2013)

Nilai V_e diperoleh dengan persamaan:

$$V_e = \frac{M_{pr}^1 + M_{pr}^2}{\ell_n} + \frac{w_u \ell_n}{2} \quad \dots\dots\dots (3-56)$$

Dengan:

V_e = gaya geser rencana

w_u = beban terfaktor per-satuan panjang balok

M_{pr} = Momen-momen ujung balok

Berdasarkan pasal 21.6.5.1, SNI 2847: 2013, gaya geser desain, V_e , harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka pertemuan-pertemuan (*joints*) di setiap komponen struktur. Gaya-gaya *joint* ini harus ditentukan menggunakan kekuatan momen maksimum yang mungkin, M_{pr} , di setiap ujung komponen struktur yang berhubungan dengan rentang dari beban aksial terfaktor, P_u , yang bekerja pada komponen struktur. Geser komponen struktur tidak perlu melebihi yang ditentukan dari kekuatan *joint* berdasarkan pada M_{pr} komponen struktur transversal yang merangka ke dalam *joint*. Dalam semua kasus, V_e tidak boleh kurang dari geser terfaktor yang ditentukan oleh analisis struktur.

Catatan tambahan yang perlu diperhatikan:

- a). Arah gaya geser V_e tergantung pada besaran relatif beban gravitasi dan geser yang dihasilkan oleh momen-momen ujung.
- b). Nilai V_e harus dicari dari nilai terbesar akibat beban gempa arah ke kanan dan ke kiri.

- c). Momen-momen ujung M_{pr} berdasarkan pada tegangan tarik baja sebesar $1,25 f_y$. Kedua momen harus ditinjau dalam kedua arah, searah jarum jam dan berlawanan jarum jam.

Batas spasi tulangan geser berdasarkan SNI 2847: 2013, pasal 11.4.5, sebagai berikut:

- a). spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur tidak boleh melebihi $d/2$ pada komponen struktur non-prategang dan $0,75h$ pada komponen struktur prategang, ataupun 600 mm.
- b). sengkang 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 tidak satu garis tulangan geser.
- c). Bila V_s melebihi $0,33\sqrt{f'_c}b_wd$, maka spasi minimum pada kedua ketentuan sebelumnya di atas harus dikurangi dengan setengahnya.

Nilai V_s dihitung dengan persamaan:

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \dots\dots\dots (3-57)$$

Persamaan ini hanya berlaku untuk tulangan geser tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur.

V_s tidak boleh diambil melebihi $0,66\sqrt{f'_c}b_wd$

Catatan lain tentang sengkang (tertutup) dijelaskan pada pasal 21.5.3.2, spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari ke-3 poin berikut:

- a). $d/4$
- b). Enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama tidak termasuk tulangan kulit longitudinal
- c). 150 mm

3.1.3. Perencanaan kolom

Tahapan dalam perencanaan kolom, sebagai berikut:

a. Pendimensionan kolom.

1. Dalam mendimensi kolom, pertama-tama harus memperhitungkan beban aksial maksimal yang bekerja pada kolom. Berdasarkan pasal 10.3.6, SNI 2847: 2013, desain beban aksial ϕP_n dari komponen struktur tekan tidak boleh lebih besar dari $\phi P_{n,max}$.

$$\phi P_{n,max} = 0,80\phi[0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \dots\dots\dots (3-58)$$

2. Persyaratan selanjutnya diatur dalam pasal 10.9.1, SNI 2847: 2013:
 - a). Luas tulangan longitudinal, A_{st} , tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,08A_g$
 - b). jumlah batang tulangan longitudinal minimum harus 4 batang untuk batang tulangan di dalam tulangan pengikat segi empat.

3. Batasan spasi untuk tulangan sebagai berikut:

- a). Spasi bersih minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar d_b , tetapi tidak kurang dari 25 mm.
- b). Bila tulangan sejajar tersebut diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapis atas harus diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya dengan spasi bersih antara lapis minimal 25 mm.
- c). Jarak bersih antar tulangan longitudinal minimal $1,5d_b$ atau kurang dari 40 mm (sesuai pasal 7.6.3 SNI 2847: 2013)

4. Selimut beton ditentukan berdasarkan pasal 7.7, SNI 2847: 2013, untuk tulangan utama, pengikat, sengkang, spiral kolom minimal 40 mm.

b. Pengaruh kelangsingan pada kolom.

Berdasarkan SNI 2847: 2013, pasal 10.10.1, pengaruh kelangsingan boleh diabaikan dalam kasus-kasus berikut:

1. Untuk komponen struktur tekan yang tidak di-breising (*braced*) terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{k\ell_u}{r} \leq 22 \dots\dots\dots (3-59)$$

2. Untuk komponen struktur tekan yang di-breising (*braced*) terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{k\ell_u}{r} \leq 34 - 12(M_1 / M_2) \leq 40 \dots\dots\dots (3-60)$$

Keterangan:

k = Faktor panjang efektif struktur tekan

ℓ_u = Panjang tak tentu komponen struktur tekan

r = Radius girasi struktur tekan

M_1 = Momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada komponen struktur tekan

M_2 = Momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen struktur tekan

Dimana M_1/M_2 adalah positif jika kolom dibengkokkan dalam kurvatur tunggal, dan negatif jika komponen struktur dibengkokkan dalam kurvatur ganda.

c. Kekuatan lentur minimum kolom.

Kekuatan lentur kolom disyaratkan dalam SNI 2847: 2013, pasal 21.6.2.2, dimana harus memenuhi persamaan:

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \dots\dots\dots (3-61)$$

Keterangan:

$\sum M_{nc}$ = jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam *joint*.

$\sum M_{nb}$ = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam *joint*.

d. Desain geser kolom (21.6.4).

Perhitungan tulangan geser didasarkan pada pasal 11.1, SNI 2847: 2012. Desain penampang yang dikenai geser harus berdasarkan:

$$\phi V_n \geq V_u \dots\dots\dots (3-62)$$

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (3-63)$$

Untuk komponen struktur non-prategang, nilai kuat geser nominal yang disediakan oleh beton, V_c , dihitung dengan persamaan:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \dots\dots\dots (3-64)$$

Dengan besar N_u / A_g harus dinyatakan dalam Mpa.

Untuk komponen struktur yang dikenai tarik aksial yang cukup besar, V_c harus diambil sama dengan nol.

Nilai V_s dihitung dengan persamaan:

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \dots\dots\dots (3-65)$$

Persamaan ini hanya berlaku untuk tulangan geser tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur.

V_s tidak boleh diambil melebihi $0,66 \sqrt{f'_c} b_w d$

Spasi bersih minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar d_b , tetapi tidak kurang dari 25 mm. Bila tulangan sejajar tersebut diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapis atas harus diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya dengan spasi bersih antara lapis minimal 25 mm.

Untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial Jarak bersih antar tulangan longitudinal minimal $1,5d_b$ atau kurang dari 40 mm (sesuai pasal 7.6.3 SNI 2847: 2013)

Berdasarkan SNI 2847: 2013, pasal 7.10.5.2, spasi vertikal sengkang tidak boleh melebihi 16 kali diameter tulangan longitudinal, 48 kali diameter sengkang, dan dimensi lateral terkecil kolom.

3.1.4. Hubungan balok-kolom (HBK)

Perencanaan Hubungan Balok-Kolom (HBK) berdasarkan SNI 2847: 2013, pasal 21.7.

a. Persyaratan umum.

1. Gaya-gaya pada tulangan balok longitudinal di muka join harus ditentukan dengan mengasumsikan bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah $1,25 f_y$.
2. Tulangan longitudinal balok yang dihentikan dalam suatu kolom harus diteruskan ke muka jauh inti kolom terkekang dan diangkur dalam kondisi tarik dan dalam kondisi tekan.
3. Bila tulangan balok longitudinal menerus melalui join balok-kolom, dimensi kolom yang sejajar terhadap tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter batang tulangan balok terbesar untuk beton normal (*normal weight*).

b. Tulangan transversal.

Tulangan transversal *joint* rangka momen/ Hubungan Balok-Kolom (HBK) ditentukan dalam SNI 2847: 2013, pasal 21.7.3, sebagai berikut:

1. Tulangan transversal *joint* harus memenuhi salah satu dari ketentuan pasal 21.6.4.4(a) atau 21.6.4.4(b), dan juga harus memenuhi pasal 21.6.4.2, 21.6.4.3, dan 21.6.4.7, kecuali seperti yang diizinkan pada **b**.
2. Bilamana komponen-komponen struktur yang merangka ke dalam semua empat sisi *joint* dan bilamana setiap lebar komponen struktur $\geq 3/4$ lebar kolom, jumlah tulangan yang ditetapkan yang ditetapkan dalam pasal 21.6.4.4(a) atau 21.6.4.4(b) diijinkan untuk direduksi dengan setengahnya, dan spasi yang disyaratkan dalam pasal 21.6.4.3 diijinkan untuk ditingkatkan sampai 150 mm dalam tinggi keseluruhan h komponen struktur rangka yang terpendek.
3. Tulangan balok longitudinal di luar inti kolom harus dikekang dengan tulangan transversal yang melewati kolom yang memenuhi persyaratan spasi pada pasal 21.5.3.2, dan persyaratan pada pasal 21.5.3.3 dan 21.5.3.6, jika pengekangan tersebut tidak disediakan oleh suatu balok yang merangka ke dalam *joint*.

c. Kekuatan Geser.

Untuk beton normal, V_n *joint* tidak boleh diambil sebagai yang lebih besar dari nilai yang ditetapkan berikut:

1. Untuk *joint* yang terkekang oleh balok-balok pada semua empat muka:

$$1,7\sqrt{f'_c}A_j \dots\dots\dots (3-66)$$

2. Untuk *joint* yang terkekang oleh balok-balok pada tiga muka atau dua muka yang berlawanan:

$$1,2\sqrt{f'_c} A_j \dots\dots\dots (3-67)$$

3. Untuk kasus-kasus lainnya:

$$1,0\sqrt{f'_c} A_j \dots\dots\dots (3-68)$$

Keterangan:

A_j = luas penampang efektif dalam suatu *joint* yang dihitung dari tinggi *joint* x lebar efektif .

Tinggi *joint* harus merupakan tinggi keseluruhan kolom, h .

Lebar *joint* efektif harus merupakan lebar keseluruhan kolom, kecuali bilamana suatu balok merangka ke dalam suatu kolom yang lebar, lebar efektif tidak memadai yang lebih kecil dari:

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

d. Panjang penyaluran batang tulangan dalam kondisi tarik.

1. Untuk ukuran batang tulangan Ø-10 sampai D-36, panjang penyaluran, ℓ_{dh} , untuk batang tulangan dengan kait 90 derajat standar pada beton normal tidak boleh kurang dari yang terbesar dari $8d_b$, 150 mm, dan panjang yang disyaratkan oleh persamaan:

$$\ell_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4\sqrt{f'_c}} \dots\dots\dots (3-69)$$

2. Untuk ukuran batang tulangan Ø-10 sampai D-36, ℓ_d , panjang penyaluran dalam kondisi tarik untuk batang tulangan lurus, tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari (i) dan (ii):
 - a). 2,5 kali panjang yang disyaratkan pada **a** bila tinggi beton yang dicetak dalam satu kali angkat di bawah batang tulangan tidak melebihi 300 mm;
 - b). 3,25 kali panjang yang disyaratkan pada **a** bila tinggi beton yang dicetak dalam satu kali angkat di bawah batang tulangan melebihi 300 mm.
3. Batang tulangan lurus yang berhenti pada suatu joint harus melewati inti terkekang dari suatu kolom atau dari suatu elemen pembatas. Sebaran bagian ℓ_d tidak dalam inti terkekang harus ditingkatkan dengan faktor sebesar 1,6 kali.
4. Bila tulangan berlapis epoksi atau berlapis ganda bahan seng dan epoksi digunakan, panjang penyaluran pada **a** hingga **c** harus dikali dengan faktor-faktor yang sesuai dalam pasal 12.2.4 atau 12.5.2.

3.1.5. Perencanaan fondasi *bored pile*

Langkah-langkah perencanaan fondasi *bored pile* sebagai berikut:

a. Daya dukung fondasi.

Rumus umum untuk menghitung daya dukung fondasi, sebagai berikut:

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Daya dukung ultimit untuk satu tiang dihitung dengan persamaan:

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} \dots\dots\dots (3-70)$$

Dengan:

$$Q_p = q_c \cdot A_{bor} \dots\dots\dots (3-71)$$

$$Q_s = 0,8 \cdot f_s \cdot A_{selimut} \dots\dots\dots (3-72)$$

$$A_{selimut} = \pi \cdot D \cdot D_f \dots\dots\dots (3-73)$$

Keterangan:

Q_u = daya dukung ultimit tiang

Q_p = daya dukung ultimit ujung tiang

Q_a = Daya dukung ultimit untuk satu tiang

SF = *Safety Factor*

Q_s = daya dukung ultimit selimut tiang

q_c = tahanan ujung per-satuan luas

A_{bor} = luas penampang tiang bor

f_s = $N_{SPTmean}$

$A_{selimut}$ = luas selimut tiang bor

D = diameter tiang bor

D_f = panjang tiang bor

b. Kelompok tiang dengan poer.

1. Jumlah kebutuhan tiang dalam kelompok tiang ditentukan dengan persamaan:

$$n = \frac{V}{P_{tiang}} \dots\dots\dots (3-74)$$

Keterangan:

n = Jumlah tiang

V = Gaya aksial rencana fondasi

P_{tiang} = Daya dukung ijin tekan tiang

Beberapa syarat dalam penentuan jumlah tiang dalam kelompok tiang, sebagai berikut:

- a). Jarak antar tiang:

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

- b). Jarak tiang ke tepi poer:

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

2. Efisiensi kelompok tiang

Efisiensi kelompok tiang dihitung dengan cara FELD, sebagai berikut:

$$E' = \sum \left(1 - \frac{j}{m} \right) \dots\dots\dots (3-75)$$

Sedangkan efisiensi tiang tunggal dihitung dengan:

$$E = \frac{1}{m} \sum \left(1 - \frac{j}{m} \right) \dots\dots\dots (3-76)$$

Keterangan:

E' = Efisiensi kelompok tiang

E = Efisiensi tiang tunggal

m = jumlah tiang di dalam kelompok tiang

j = jumlah tiang yang mengelilingi tiang dalam kelompok tiang.

3. Beban maksimum yang bekerja pada tiang dalam kelompok tiang

$$P_{\max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_y \cdot X}{\sum x^2} + \frac{M_x \cdot y}{\sum y^2} \quad (3-77)$$

Keterangan:

$P_{\max}$ = Beban maksimal yang diterima tiang

$\sum V$ = jumlah total beban normal.

n = jumlah tiang dalam 1 poer

M_x = Momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu X yang bekerja pada fondasi, diperhitungkan terhadap titik-titik pusat berat seluruh tiang yang terdapat di dasar *poer*.

M_y = Momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu Y yang bekerja pada fondasi, diperhitungkan terhadap titik-titik pusat berat seluruh tiang yang terdapat di dasar *poer*.

x = Absis tiang pancang terhadap titik berat kelompok tiang

y = ordinat tiang pancang terhadap titik berat kelompok tiang

$\sum x^2$ = Jumlah kuadrat absis-absis tiang

$\sum y^2$ = Jumlah kuadrat ordinat-ordinat tiang.

c. Daya dukung horizontal tiang.

Daya dukung horizontal tiang untuk tiang panjang dihitung dengan:

$$H_u = \frac{2M_y}{\frac{3D}{2} + \frac{f}{2}} \dots\dots\dots (3-78)$$

$$M_{\max} = H_u \left(\frac{L_p}{2} + \frac{3D}{2} \right) \dots\dots\dots (3-79)$$

Keterangan:

D = Diameter tiang

L_p = Panjang tiang yang tertanam

H_u = Gaya horizontal ultimit penampang tiang

$M_{\max}$ = Momen kapasitas maksimal pada penampang tiang

d. Cek geser.

1. Geser dua arah

$$\phi V_n = \phi V_c \dots\dots\dots (3-80)$$

$$V_u \leq \phi V_n \dots\dots\dots (3-81)$$

Nilai V_c dipilih yang terkecil dari hasil perhitungan menggunakan 3 persamaan berikut:

$$a). V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_o d \dots\dots\dots (3-82)$$

$$b). V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_o} \right) \frac{\sqrt{f'_c}}{12} b_o d \dots\dots\dots (3-83)$$

$$c). V_c = \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2 \right) \frac{\sqrt{f'_c}}{12} b_o d \dots\dots\dots (3-84)$$

Keterangan:

b_o = Penampang kritis pada *poer*

d = Tinggi efektif *poer*

β_o = Luas penampang kolom

$b = h$ = Dimensi ukuran *poer*

α_s = Konstanta (besarnya 40 untuk kolom dalam, 30 untuk kolom tepi, dan 20 untuk kolom sudut)

ϕ = Faktor reduksi

2. Geser satu arah

$$\phi V_n = \phi V_c \dots\dots\dots (3-85)$$

$$V_u \leq \phi V_n \dots\dots\dots (3-86)$$

Dengan

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} . b . d \dots\dots\dots (3-87)$$

$$V_u = Q_u . q . L \dots\dots\dots (3-88)$$

$$Q_u = \frac{P_u}{A} \dots\dots\dots (3-89)$$

$$q = \frac{1}{2} \text{ lebar } poer - \frac{1}{2} \text{ lebar kolom} - d \dots\dots\dots (3-90)$$

Keterangan:

V_u = Kuat geser total terfaktor

V_c = Kuat geser

P_u = Daya dukung tiang

B_o = Penampang kritis

A = Luas *poer*

L = Luas *poer*

d = Tinggi efektif

Q_u = Gaya geser total terfaktor yang bekerja pada penampang kritis

e. Perencanaan Tulangan *bored pile*.

Perencanaan *bored pile* harus memenuhi:

$$\phi P_n \geq P_u \dots\dots\dots (3-91)$$

$$P_n = 0,8[0,85.f'_c(A_g - A_{st}) + f_y.A_{st}] \dots\dots\dots (3-92)$$

Keterangan:

A_g = Luas penampang *bored pile*

A_{st} = Luas tulangan *bored pile*

ϕ = faktor reduksi kekuatan

= 0,75, untuk kolom dengan penulangan spiral

= 0,65, untuk kolom dengan penulangan segi empat.