

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Beban Struktur

Menurut SNI 1727;2013, Beban merupakan gaya atau aksi lainnya yang diperoleh dari berat seluruh bahan bangunan, penghuni, barang-barang yang ada didalam bangunan gedung, efek lingkungan, selisih perpindahan, dan gaya kekangan akibat perubahan dimensi. Berikut merupakan beban-beban yang bekerja pada struktur suatu bangunan :

1. Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. (SNI 1727: 2013 pasal 3.1)

2. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati (SNI 1727:2013 pasal 4.1).

3. Beban Gempa

Beban gempa ialah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur ditentukan berdasarkan suatu analisis dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa di sini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut, yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu (PPUIG 1983, pasal 1.4).

4. Beban Angin

Beban angin ialah besar tekanan atau isapan yang diakibatkan oleh angin pada suatu titik bergantung pada kecepatan angin, rapat massa udara, lokasi yang ditinjau pada struktur, perilaku permukaan struktur, bentuk geometris, dimensi dan orientasi struktur, dan kekakuan keseluruhan struktur (Schodek, 1998).

2.2. **Teori Pembebanan**

Pembebanan yang diperhitungkan dalam perencanaan gedung ini adalah kombinasi dari beban hidup, beban mati, dan beban gempa.

2.2.1. **Kuat perlu**

Kuat perlu dari elemen struktur harus sama atau melebihi dari beban terfaktor yang bekerja. Kuat perlu dapat dihitung berdasarkan kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 2847:2013 dan SNI 1726:2012 yaitu sebagai berikut :

$$1,4 D \quad (2-1)$$

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

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + \rho E_X + 0,3 \rho E_Y \quad (2-3)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + \rho E_X - 0,3 \rho E_Y \quad (2-4)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - \rho E_X + 0,3 \rho E_Y \quad (2-5)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - \rho E_X - 0,3 \rho E_Y \quad (2-6)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 0,3 \rho E_X + \rho E_Y \quad (2-7)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 0,3 \rho E_X - \rho E_Y \quad (2-8)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,3 \rho E_X + \rho E_Y \quad (2-9)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,3 \rho E_X - \rho E_Y \quad (2-10)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + \rho E_X + 0,3 \rho E_Y \quad (2-11)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + \rho E_X - 0,3 \rho E_Y \quad (2-12)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - \rho E_X + 0,3 \rho E_Y \quad (2-13)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - \rho E_X - 0,3 \rho E_Y \quad (2-14)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 0,3 \rho E_X + \rho E_Y \quad (2-15)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 0,3 \rho E_X - \rho E_Y \quad (2-16)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 0,3 \rho E_X + \rho E_Y \quad (2-17)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 0,3 \rho E_X - \rho E_Y \quad (2-18)$$

Keterangan :

D = Beban mati (dead load)

L = Beban hidup (live load)

S_{ds} = Parameter percepatan respons desain pada periode pendek

ρ = Faktor redundansi

E_x = Beban gempa arah horizontal

E_y = Beban gempa arah vertikal

Pengecualian :

Faktor beban untuk L pada persamaan (2-3) sampai dengan persamaan (2-10) boleh diambil sama dengan 0,5 kecuali untuk garasi, ruang pertemuan, dan semua rungan yang nilai beban hidupnya lebih besar daripada 500 kg/m².

2.2.2. Kuat Rencana

Menurut SNI 2874:2013 pasal 9.3, kuat desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan 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 dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ) seperti pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Faktor Reduksi (ϕ) Kekuatan Desain

No	Keterangan	Faktor Reduksi (ϕ)
1.	Penampang terkendali tarik	0,9
2.	Penampang terkendali tekan a. Komponen struktur dengan tulangan spiral b. Komponen struktur bertulang lainnya	0,75 0,65
3.	Geser dan torsi	0,75
4.	Tumpuan pada beton	0,65
5.	Daerah angkur pasca tarik	0,85
6.	Model strat pengikat, strat, pengikat, daerah pertemuan (<i>nodal</i>), dan daerah tumpuan dalam model tersebut	0,75
7.	Penampang lentur dalam komponen struktur pra tarik dimana penanaman strand 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	0,75 0,75 – 0,9

(Sumber : SNI 2847 : 2013 subpasal 9.3.2.1 – 9.3.2.7)

2.3. Perencanaan Terhadap Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012

2.3.1. Gempa rencana

Menurut SNI 1726:2012, gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarannya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen.

2.3.2. Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Berdasarkan SNI 1726:2012, kategori risiko tiap bangunan berbeda sesuai fungsi bangunan. Faktor keutamaan dan kategori risiko struktur bangunan dijelaskan sesuai dalam tabel 2.2 dan tabel 2.3 :

Tabel 2.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain : <ul style="list-style-type: none"> - 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 : <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II

Tabel 2.2 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa (Lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung Pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III

Tabel 2.2 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa (Lanjutan)

<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya. - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV
---	----

(Sumber : SNI 1726 : 2012 pasal 4.1.2)

Kategori risiko memiliki faktor keutamaan gempa yang berbeda. Berikut merupakan tabel 2.3 nilai faktor keutamaan tiap kategori risiko :

Tabel 2.3 Faktor Keutamaan Gempa

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

(Sumber : SNI 1726:2012, pasal 4.1.2)

2.3.3. Kelas Situs

Berdasarkan SNI 1726 : 2012 pasal 5.3, tipe kelas situs harus ditetapkan sesuai dengan definisi dan pasal-pasal berikut.

Tabel 2.4 Klasifikasi situs

Kelas situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB(batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40 \%$ 3. Kuat geser niralir $S_u < 25\text{kPa}$		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikut 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut; - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/ atau gambut (ketebalan $H > 3\text{m}$) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5\text{m}$ dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak / setengah teguh dengan ketebalan $H > 3,5\text{m}$ dengan $S_u < 50\text{ kPa}$		

CATATAN : N/A = tidak dapat dipakai
 (sumber : SNI 1726 :2012, pasal 5.3)

Keterangan :

V_s = Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata

N atau N_{ch} = Tahanan Penetrasi standar rata-rata dan tahanan penetrasi standar Rata-rata tanah non-koheusif

S_u = kuat geser niralir rata-rata

2.3.4. Parameter Percepatan Terpetakan

Sesuai dengan SNI 1726 : 2012 pasal 6.1.1, parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_I (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 14 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Untuk mendapatkan data-data tersebut dapat dibantu dengan menggunakan aplikasi desain spektral yang dapat diakses menggunakan internet melalui

[http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain spektra indonesia 2011//](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain%20spektra%20indonesia%202011//)

2.3.5. Koefisien Situs dan Parameter Spektral Percepatan Gempa

Merdasarkan SNI 1726:2012 pasal 6.2, untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{MI}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2-19)$$

$$S_{MI} = F_v S_I \quad (2-20)$$

Keterangan :

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakkan untuk periode pendek;

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakkan untuk periode 1,0 detik.

Tabel 2.5 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakkan Pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$SS \leq 0,25$	$SS = 0,5$	$SS = 0,75$	$SS = 1,0$	$SS \geq 1,25$
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 1726:2012, pasal 6.2)

Tabel 2.6 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakkan Pada periode pendek, $T = 1$ detik, S_1				
	$SS \leq 0,25$	$SS = 0,5$	$SS = 0,75$	$SS = 1,0$	$SS \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	1,8	2,4	2,4
SF	SS^b				

(Sumber SNI 1726:2012, pasal 6.2)

Catatan :

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

2.3.6. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, S_{DS} dan pada perioda 1 detik, S_{DI} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini :

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

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (2-22)$$

Keterangan :

S_{DS} = parameter percepatan respons spektral pada perioda pendek

S_{MS} = parameter percepatan respons spektral MCE pada perioda pendek yang sudah disesuaikan dengan kelas situs

S_{DI} = Parameter percepatan respons spektral pada perioda 1 detik

S_{MI} = Parameter percepatan respons spektral MCE pada perioda 1 detik yang sudah disesuaikan dengan kelas situs

2.3.7. Spektrum Respons Desain

Menurut SNI 1726:2012 pasal 6.4, spektrum respons desain dapat ditentukan dengan ketentuan dibawah ini:

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2-23)$$

2. Untuk perioda 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 perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2-24)$$

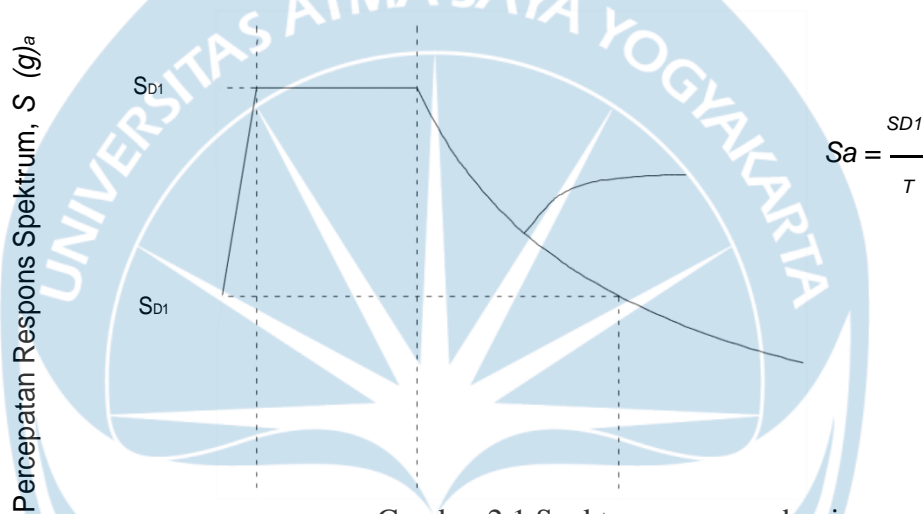
Keterangan :

S_{DS} = Parameter percepatan respons spectral pada perioda pendek;

S_{D1} = Parameter percepatan respons spectral pada perioda 1 detik;

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

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



Gambar 2.1 Spektrum respons desain

(Sumber : SNI 1726 : 2012 pasal 6.4)

2.3.8. Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik dapat ditentukan berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} sesuai dengan tabel berikut :

Tabel 2.7 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Niali S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	B
$0,33 \leq S_{D1} < 0,50$	C	C
$0,50 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber : SNI 1726:2012, pasal 6.5)

Tabel 2.8 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Niali S_{DI}	ategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	B
$0,33 \leq S_{DI} < 0,20$	C	C
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

(Sumber : SNI 1726:2012, pasal 6.5)

2.3.9. Pemodelan Struktur

Menurut SNI 1726:2012 pemodelan struktur harus dibuat untuk tujuan penentuan gaya elemen struktur dan perpindahan struktur yang dihasilkan dari beban yang diterapkan dan semua perpindahan yang dikenakan atau pengaruh P-delta. Model harus menyertakan kekakuan dan kekuatan elemen yang signifikan terhadap massa dan kekakuan secara spasial pada seluruh struktur.

Sebagai tambahan, model tersebut harus sesuai dengan hal berikut ini :

- Properti kekakuan elemen beton dan batu bata harus memperhitungkan pengaruh penampang retak ;
- Untuk sistem rangka baja pemikul momen, kontribusi deformasi daerah panel pada simpangan antar lantai tingkat keseluruhan harus disertakan.

2.3.10. Prodesur Gaya Lateral Ekvivalen

Perancangan suatu bangunan gedung perlu diperhatikan gaya-gaya lateral yang terjadi pada suatu bangunan akibat adanya gempa yang terjadi. Berdasarkan

SNI 1726:2012 pasal 7.8 dijelaskan prosedur-prosedur untuk menghitung gaya lateral ekuivalen sebagai berikut :

a. Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$V = C_s W \quad (2-25)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

Dimana, koefisien respons seismik, C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2-26)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain dalam tentang periode pendek

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

b. Penentuan periode

Periode fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan pada periode yang dihitung (C_U) dan periode fundamental pendekatan, T_a , yang ditentukan sesuai SNI 1726:2012 pasal 7.8.2.1. sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur, T_a , dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2-27)$$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan pada tabel 2.10

Tabel 2.9 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{DI}	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 1726:2012, pasal 7.8.2)

Tabel 2.10 Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen 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	0,0724a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488a	0,75

(Sumber SNI 1726:2012, pasal 7.8.2)

2.4. Perencanaan Elemen Struktur

2.4.1 Perencanaan Pelat

Struktur pelat memiliki 2 jenis pelat yaitu, pelat satu arah dan pelat dua arah.

Dimana pelat satu arah ialah pelat yang didukung pada kedua tepi yang berhadapan,

sehingga lenturan yang timbul hanya dalam satu arah saja, sedangkan pelat dua arah ialah pelat yang didukung pada keempat tepinya, sehingga lenturan yang timbul dalam dua arah. Untuk menentukan pilihan jenis pelat lantai yang akan digunakan perlu dihitung perbandingan antara panjang (l_x) dan lebar (l_y) pelat. Apabila hasil perbandingan $l_y/l_x < 2$ maka termasuk dalam jenis pelat satu arah, sedangkan apabila hasil perbandingan $l_y/l_x \geq 2$ maka dapat dihitung dengan dianggap sebagai pelat dua arah.

1. Pelat Satu Arah

Tabel 2.11 Tebal minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

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	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 dimodifikasi sebagai berikut: a. Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (<i>equilibrium density</i>), w_o , di antara 1440 sampai 1840 kg/m ³ , nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0007w_o)$ tetapi tidak kurang dari 1,09. b. Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$				

(Sumber: Tabel 9.5(a) SNI 2874:2013, pasal 9.5)

2. Pelat Dua Arah

Menurut SNI 2874:2013 pasal 9.5.3.2 diatur ketentuan untuk pelat dua arah, dimana untuk pelat tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari 2, tebal minimumnya harus memenuhi ketentuan tabel 2.12.

Tabel 2.12 Tebal minimum pelat tanpa balok interior*

Tegangan leleh, f_y MPa ^b	Tanpa penebalan ^c			Dengan penebalan ^c		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ^d		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ^d	
280	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
420	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
520	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$
<p>* Untuk konstruksi dua arah, l_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke arah muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.</p> <p>† Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.</p> <p>‡ Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5</p> <p>§ Pelat dengan balok di antara kolom-kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai a_f untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.</p>						

(Sumber: Tabel 9.5(c) SNI 2874:2013)

Untuk pelat dengan balok yang membentang diantara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya h , harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. Untuk a_{fm} yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus memenuhi tabel 2.12;
- b. Untuk a_{fm} lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 0,2 , h tidak boleh kurang dari persamaan berikut:

$$h = \frac{\ln(0,8| + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta(a_{fm} - 0,2)} \quad (2-28)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm;

- c. Untuk a_{fm} lebih besar 0,2, ketebalan pelat minimum ditentukan dengan persamaan berikut:

$$h = \frac{\ln(0,8| + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \quad (2-29)$$

dan tidak 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 yang ditentukan dengan persamaan (2-28) dan (2-29) harus dinaikan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

3. Perancangan pelat

- a. Menghitung pembebanan pelat berdasarkan SNI 1727:2013.
- b. Menentukan momen pada pelat dengan menggunakan PBI 1971.
- c. Menentukan tebal minimum pelat berdasarkan 2.11 dan 2.12.
- d. Menghitung rasio penulangan pelat

e. Menentukan spasi antar tulangan.

f.

3.4.2. Perencanaan Balok

Balok merupakan elemen struktur bidang horizontal yang berfungsi untuk menerima beban mati dan beban hidup dari pelat lantai, yang selanjutnya akan disalurkan ke kolom.

Untuk melakukan perencanaan balok digunakan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan f'_c dan f_y tulangan baja dan dimensi yang akan digunakan.
2. Mu diperoleh dari hasil bantuan program ETABS
3. Menentukan d_{asumsi}
4. Menghitung nilai R_n
5. Menghitung ρ_{perlu} yang dipakai sesuai dengan syarat $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$
6. Menghitung As dan jumlah tulangan
7. Cek jarak bersih antar tulangan, menurut SNI 2874:2013 pasal 7.6.1, jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih besar dari 25 mm
8. Menghitung d_{aktual} dan As_{aktual}
9. Menghitung a, c, dan ϵ_t
10. Menghitung ϕM_n

a. Tulangan Longitudinal

Berdasarkan SNI 2837:2013 pasal 21.5.2.2 untuk daerah tarik tumpuan diambil nilai $M_u = M_n$. Untuk daerah desak tumpuan $M_u = 0,5M_u$ dari ETABS.

Pada daerah tarik maupun desak lapangan $M_u = 0,25M_u$ dari ETABS.

$$R_{nperlu} = \frac{M_u}{0,9 b w d^2} \quad (2-30)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,8 f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,8 f'c}} \right) \quad (2-31)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2-32)$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} \quad (2-33)$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1 rasio tulangan ρ tidak boleh melebihi 0,025

Luas tulangan yang diperlukan

$$A_{sperlu} = \rho_{perlu} \times b_w \times d \quad (2-34)$$

Jumlah tulangan yang digunakan

$$n = \frac{A_{sperlu}}{\text{luas 1 tulangan}} \text{ (pembulatan keatas)} \quad (2-35)$$

Menentukan a dan c

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'c b_w} \quad (2-36)$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} \quad (2-37)$$

dimana untuk $f'c > 28$ MPa. β_1 menggunakan persamaan dibawah:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05}{7} (f'c - 28) \quad (2-38)$$

menghitung $\epsilon_t =$

$$\epsilon_t = 0,003 \left(\frac{d_t - c}{c} \right) \quad (2-38)$$

b. Tulangan Geser

Menurut pasal 21.5.4.1 SNI 2847:2013, gaya geser desain (V_e) harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur

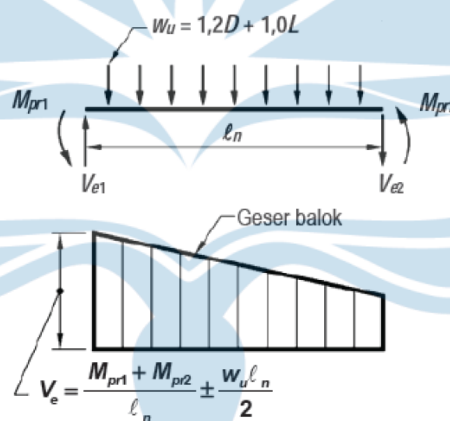
antara muka-muka joint. Harus diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin, M_{pr} , bekerja pada muka-muka joint dan bahwa komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tributary terfaktor sepanjang bentangnya.

Nilai kuat lentur maksimum tulangan:

$$M_{pr} = A_s \cdot 1,25 \cdot f_y \left(d - 0,59 \frac{A_s \cdot 1,25 f_y}{f'_{cbw}} \right) \quad (2-39)$$

Gaya geser akibat gempa dihitung dengan persamaan:

$$V_e = \frac{M_{pr1} M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{W_u l_n}{2} \quad (2-40)$$



Gambar 2.2 Gaya Geser Desain

(Sumber: SNI 2847:2013 gambar S21.5.4)

SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.2 menjelaskan bahwa pada daerah sendi plastis, $V_c = 0$, bilamana keduanya (a) dan (b) terjadi:

- a. Gaya geser ditimbulkan gempa, yang dihitung sesuai 21.6.5.1, mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam l_o ;
- b. Gaya tekan aksial terfaktor, P_u , termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c / 10$.

Jika kontribusi geser dari beton $\neq 0$, dalam SNI 2874:2013 pasal 11.2.1.1 menetapkan persamaan kuat geser beton untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur sebagai berikut:

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (2-41)$$

Dengan $\lambda = 1$ untuk beton normal

Kuat geser nominal yang harus ditahan oleh tulangan geser dihitung dengan persamaan:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (2-42)$$

Dengan nilai V_s maksimal:

$$V_{s \max} = \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} b_w d \quad (2-43)$$

Spasi tulangan geser dihitung menggunakan persamaan:

$$S = \frac{A_v f_y d}{V_s} \quad (2-44)$$

Pada pasal 21.5.3.2 SNI 2874:2013, sengkang tertutup pertama harus ditempatkan $\leq 50\text{mm}$ dari muka komponen struktur. Spasi sengkang tidak melebihi syarat dibawah ini:

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

- d. Sedangkan menurut pasal 11.4.5.1 SNI 2847:2013, pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang kait gempa pada kedua ujungnya harus dipasang dengan spasi $\leq d/2$ pada komponen struktur.

3.4.3. Perencanaan Kolom

Kolom merupakan elemen struktur yang memiliki kapasitas pikul-beban tekan yang bergantung pada panjang relatif dan karakteristik dimensional penampang melintang elemen tersebut (khususnya dimensi terkecil dari penampang meintang), selain juga bergantung pada sifat material yang digunakan (Schodek,1998). SNI 2847:2013 pasal 10.3.6.2 Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan pengikat dapat ditentukan desain beban aksial dengan persamaan:

$$\phi P_n \text{ maks} = 0,8 \phi [0,85 \phi f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (2-45)$$

dengan nilai $\phi = 0,65$

1. Kelangsingan Kolom

Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.10.1, untuk komponen struktur tekan yang bergoyang, pengaruh kelangsingan boleh diabaikan jika:

$$\frac{klu}{r} \leq 22 \quad (2-46)$$

Keterangan:

k = faktor panjang efektif komponen struktur tekan

r = radius girasi suatu penampang komponen struktur tekan

lu = panjang bersih komponen struktur tekan

2. Kuat Lentur

Dalam perancangan kolom, kuat lentur yang dirancang harus memiliki kekuatan untuk menahan momen balok yang bekerja pada kedua arah.

Momen minimum dirancang 20% lebih besar dari pada momen balok disuatu hubungan balok kolom untuk mencegah terjadinya leleh pada kolom yang pada dasarnya didesain sebagai komponen pemikul beban lateral. Pada pasal 21.6.2.2. SNI 2847:2013, terdapat persamaan:

$$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb} \quad (2-47)$$

Keterangan:

ΣM_{nc} = Jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi dimuka-muka joint. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.

ΣM_{nb} = Jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint. Pada konstruksi balok-T, bilamana slab dalam kondisi tarik akibat momen-momen dimuka joint, tulangan slab dalam lebar slab efektif yang didefinisikan dalam 8.12 harus diasumsikan menyambung kepada ΣM_{nb} jika tulangan slab disalurkan pada penampang kritis untuk lentur.

3. Gaya Geser Rencana

Gaya geser desain, V_e , harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka joint. Maka V_e harus ditentukan dari kuat momen maksimum M_{pr} dari setiap ujung komponen struktur yang bertemu balok dan kolom (SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.1).

Pasal 11.1 SNI 2847:2013 menjelaskan bahwa tentang perencanaan penampang geser harus memenuhi:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2-48)$$

Dimana V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n adalah kekuatan geser nominal yang dihitung dengan:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2-49)$$

Keterangan :

V_c = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton

V_s = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser

Sesuai dengan pasal 11.2.1.2 SNI 2874:2013, kuat geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur yang dibebani gaya tekan aksial ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (2-50)$$

dan

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (2-51)$$

Keterangan:

A_v = luas tulangan geser

V_s = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser

A_g = luas bruti penampang kolom

N_u = beban aksial terfaktor yang terjadi

b_w = lebar balok

f_y = tegangan leleh baja

f'_c = kuat tekan beton

4. Tulangan Transversal Kolom

Untuk menjamin daktilitas apabila terjadi pembentukan sendi plastis, maka ujung-ujung kolom perlu cukup pengekanan. Tulangan transversal juga diperlukan untuk mencegah kegagalan geser (Herlian,2017).

Menurut pasal 21.6.4.4 SNI 2847:2013,, luas penampang total tulangan sengkang persegi ditentukan:

$$A_{sh} = 0,3 \frac{S_b f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (2-52)$$

$$A_{sh} = 0,9 \frac{s_{bc} f'_c}{f_{yt}} \quad (2-53)$$

Keterangan:

A_{sh} = luas total penampang snegkang tertutup persegi

A_g = luas bruto penampang

A_{ch} = luas penampang dari sisi luar kesisi tulangan transversal

bc = dimensi penampang inti komponen struktur yang diukur ke tepi luar tulangan transversal yang membentuk luas A_{sh}

s = spasi tulangan

f_{yh} = tegangan leleh baja tulangan transversal

f'_c = kuat tekan beton

SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.3 menjelaskan, spasi tulangan transversal sepanjang panjang l_0 komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- a. Seperempat dimensi komponen struktur minimum;
- b. Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil; dan
- c. $s_0 = 100 + \frac{350 - h_x}{3}$

dengan nilai s_0 tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.

2.4.4. Perencanaan fondasi

Fondasi tiang pancang berfungsi untuk memindahkan atau mentransferkan beban-beban dari konstruksi di atasnya kelapisan tanah yang lebih dalam. Pada umumnya tiang pancang dipancangkan tegak lurus ke dalam tanah, tetapi apabila diperlukan untuk dpat menahan gayanya horizntal maka tiang pancang akan dipancangkan miring.

Langkah-langkah perencanaan fondasi tiang pancang yaitu sebagai berikut :

1. Daya dukung fondasi

Untuk mencari nilai daya dukung fondasi tiang pancang dapat digunakan rumus-rumus sebagai berikut :

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad (2-54)$$

$$Q_s = \sum p \Delta L f \quad (2-55)$$

$$P = \pi \times d \quad (2-56)$$

Keterangan :

Q_u = daya dukung ultimit tiang

Q_b = daya dukung ultimit ujung tiang

Q_s = daya dukung ultimit selimut tiang

d = keliling penampang tiang

L = panjang tiang

f = gesekan selimut tiang persatuan luas.

2. Kelompok tiang

Untuk menentukan jumlah kebutuhan tiang dalam kelompok tiang dapat menggunakan persamaan :

$$n = \frac{P}{Q_u} \quad (2-57)$$

Keterangan :

n = Jumlah kebutuhan tiang

Q = Daya dukung tiang

P = Beban aksial yang diberikan

Pada penjumlahan tiang dalam kelompok, jarak antar tiang harus memenuhi syarat – syarat berikut :

a. Jarak antar tiang

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

b. Jarak tiang ke tepi

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

Keterangan :

S = jarak antar tiang

D = Diameter tiang

Efisiensi Kelompok Tiang :

$$E_g = \frac{2(m+n-2)s+4D}{p.m.n} \quad (2-58)$$

Efisiensi Kelompok tiang formula converse – labarre

$$E_g = 1 - \frac{\theta}{90} \left[\frac{(n-1)m+(m-1)n}{90.m.n} \right] \quad (2-59)$$

$\theta = \arctan (D/s)$

Efisiensi Kelompok Tiang formula Los Angeles

$$E_g = 1 - \frac{D}{\pi.s.m.n} [m(n-1) + n(m-1) + (m-1)(n-1)\sqrt{2}] \quad (2-60)$$

Keterangan :

m = Jumlah tiang pada 1 baris

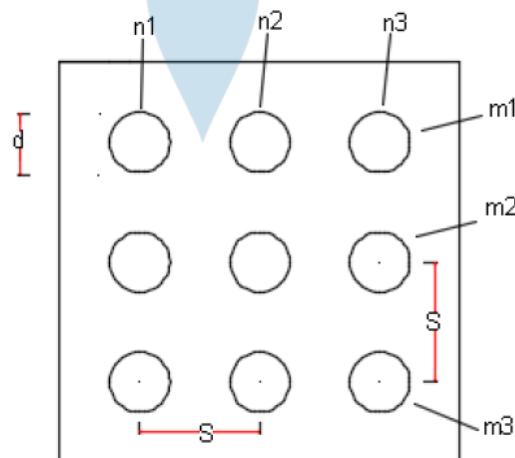
n = Jumlah tiang pada 1 kolom

S = Jarak antar tiang

D = Diameter atau sisi tiang

P = keliling dari penampang tiang

Eg = Efisiensi Kelompok Tiang



Gambar 2.3 Kelompok Tiang

3. Cek geser

a. Kontrol terhadap Geser 1 arah

$$V_u < \phi V_n \quad (2-61)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (2-62)$$

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} b d \quad (2-63)$$

$$V_u = m \cdot P_u \quad (2-64)$$

keterangan :

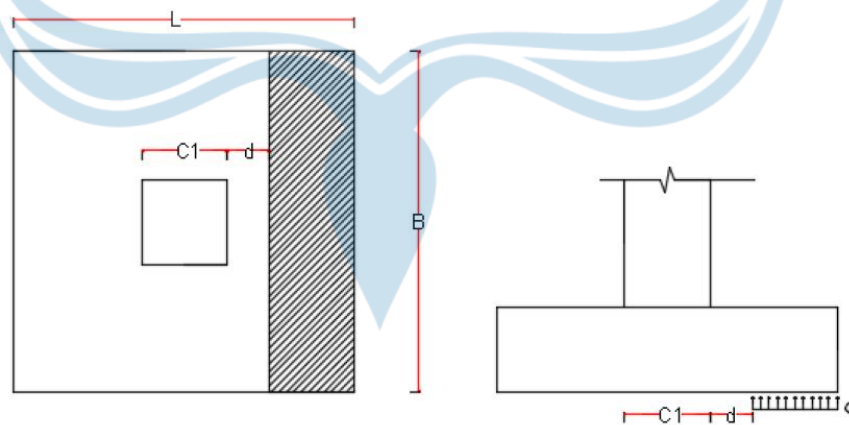
V_u = gaya geser total terfaktor

P_u = daya dukung tiang

b = penampang kritis

d = tinggi efektif *pile cap*

ϕ = factor reduksi.



Gambar 2.4 Kontrol Geser Terhadap 1 Arah

b. Kontrol terhadap Geser 2 Arah

Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung kuat geser dua arah *pile cap*

$$V_{c1} = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d \quad (2-65)$$

$$V_{c2} = 0,083 \cdot \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d \quad (2-66)$$

$$V_{c3} = 0,333 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d \quad (2-67)$$

$$V_U = \frac{P_U}{A_{PC} - A_0} \quad (2-68)$$

Nilai V_c diambil yang terkecil dari hasil persamaan diatas.

$$V_u < \phi V_n \quad (2-69)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (2-70)$$

Keterangan :

V_u = gaya geser total terfaktor

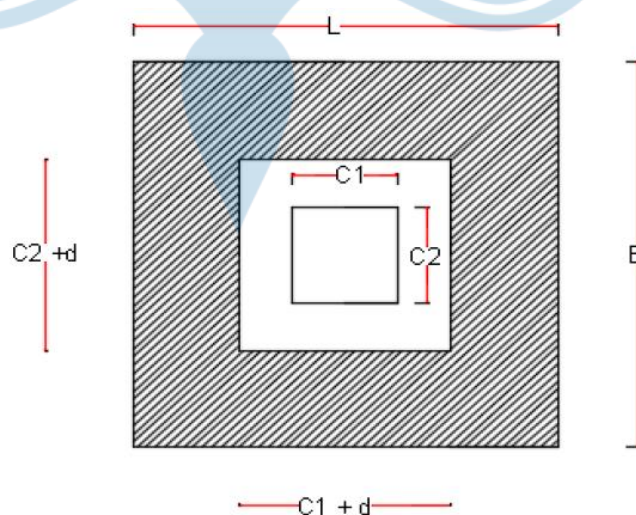
b_o = penampang kritis

A = Luas *pilecap*

d = tinggi efektif

L = Lebar *pilecap*

β = rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom



Gambar 2.5 Kontrol Geser Terhadap 2 Arah