

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Menurut penelitian yang dilakukan Rudiatmoko (2012) pada jurnal ilmiah dengan judul *“Perancangan Struktur Gedung Beton Bertulang Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Dengan RSNi 03-1726-xxxx”* dijelaskan Indonesia adalah negara rawan gempa sehingga diperlukan analisis bangunan tahan gempa dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang diharapkan bangunan tersebut memiliki daktilitas penuh.

Pada jurnal karya Budianto (2013) yang berjudul *“Perhitungan Gedung 10 (Sepuluh) Lantai Dengan Perencanaan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Di Jalan Sepakat II Kota Pontianak”* dijelaskan bahwa dalam analisis struktur bangunan digunakan aplikasi SAP 2000 dengan perencanaan koefisien disain seismik A sehingga pengaruh gaya gempa dapat tidak diperhitungkan ataupun tidak dibatasi untuk diperhitungkan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Da Silva (2015) pada Tugas Akhir dengan judul *“Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa Pada Gedung Perkantoran Tujuh Lantai National Commission Election Timor Leste”* dijelaskan bahwa dalam merencanakan struktur gedung tahan gempa dengan sistem rangka pemikul momen khusus digunakan pada daerah zona gempa 5 (lima) dan 6 (enam), dengan memperhatikan fungsi bangunan yang akan digunakan.

2.2 Persyaratan Bangunan Beton Bertulang

Pada analisis perencanaan bangunan gedung ini mengacu pada peraturan yang telah ditentukan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) dan Departemen Pekerjaan Umum, diantaranya :

1. SNI 03-2847-2013 : Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.
2. SNI 1727-2013 : Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
3. PPIUG 1983 : Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung.

Bagunan ini akan di desain menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus, yaitu sistem rangka portal yang direncanakan bersifat daktail penuh dengan pendetailan secara khusus. Portal yang di desain sebagai sistem rangka pemikul momen khusus diberi sendi plastis pada kedua ujung balok dan kedua ujung kolom, portal ini juga harus dapat menjamin bahwa kekuatan kolom lebih besar dari pada balok, sesuai kaidah yang berlaku yaitu kolom kuat dan balok lemah (*strong coloum weak beam*).

Sistem sturktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur (SNI 1726-2012, 2012).

2.2.1 Pembebanan

2.2.1.1 Beban Mati

Beban mati adalah suatu beban dengan besar atau nominal yang tetap dan konstan, yang artinya beban tersebut ditimbulkan oleh elemen-elemen struktur bangunan seperti balok, kolom, dan pelat lantai (Zainal, 2015). Beban ini biasanya terdiri dari berat sendiri dari struktur tersebut serta beban yang melekat pada struktur tersebut secara permanen, diantara contoh beban mati adalah :

1. Dinding
2. Lantai
3. Atap
4. Plumbing

Dalam pendesainan berat dari beban mati ini harus diperhitungkan untuk digunakan dalam analisis, biasanya beban mati ini diberi kode DL (*Dead Load*) atau D (*Dead*).

2.2.1.2 Beban Hidup

Beban hidup memiliki sifat kebalikan dari beban mati, yaitu nilai dan posisinya dapat berubah – ubah. Menurut SNI 1727-2013 beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan

bangunan gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata yang ditetapkan, biasanya beban hidup ini diberi kode LL (*Live Load*) atau L (*Live*).

Tabel 2.1 : Beban hidup terdistribusi merata minimum, Lo dan beban hidup terpusat minimum (SNI 1727-2013)

Hunian atau penggunaan	Merata Psf (kN/m ²)	Terpusat Lb (kN)
Rumah sakit :		
Ruang operasi, laboratorium	60 (2.87)	1000 (4.45)
Ruang pasien	40 (1.92)	1000 (4.45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3.83)	1000 (4.45)

2.2.1.3 Beban Gempa

Suatu beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan oleh adanya gempa bumi yang dapat mempengaruhi stabilitas struktur tersebut. Pengaruh beban gempa adalah gaya elemen struktur aksial, geser, dan lentur yang dihasilkan dari penerapan gaya gempa horizontal dan vertical. Jika disyaratkan secara spesifik, pengaruh beban gempa harus dimodifikasi untuk memperhitungkan kuat lebih sistem.

2.2.1.4 Beban Kombinasi

Dalam analisis dari perencanaan sebuah struktur gedung diperlukan kombinasi beban, dalam beberapa kasus beban tersebut dapat bekerja secara bersamaan selama umur rencana struktur tersebut. Ada dua kombinasi yang perlu ditinjau dalam

perencanaan ini yaitu kombinasi pembebanan tetap dan kombinasi pembebanan sementara.

Adapun kombinasi beban yang akan digunakan pada analisis perencanaan struktur gedung ini yaitu :

$$1. \quad U = 1.4D \quad (2.1)$$

$$2. \quad U = 1.2D + 1.6L + 0.5 (A \text{ atau } R) \quad (2.2)$$

$$3. \quad U = 1.2D + 1.0L \pm 0.9W \quad (2.3)$$

$$4. \quad U = 1.2D + 1.0L \pm 1.0E \quad (2.4)$$

Keterangan :

- A : Beban Atap
- D : *Dead Load* (Beban Mati)
- E : *Earthquake Load* (Beban Gempa)
- L : *Live Load* (Beban Hidup)
- R : *Rain Load* (Beban Hujan)
- U : Beban *Ultimate*
- W : *Wind Load* (Beban Angin)

2.3 Persyaratan Bangunan Tahan Gempa

Dalam tahap awal penelitian dilakukan analisis bangunan tahan gempa persyaratan yang diperlukan, diantaranya konfigurasi denah bangunan, material yang digunakan, dan sistem struktur yang digunakan. Ada dua macam analisis gempa yaitu secara statik ekuivalen dan dinamis. Statik ekuivalen digunakan apabila bangunan memiliki bentuk sederhana dan beraturan, untuk analisis dinamis digunakan apabila bangunan gedung

tersebut tidak dapat diperkirakan perilakunya terhadap beban gempa seperti bangunan yang tidak beraturan, namun analisis dinamis juga dapat digunakan pada bangunan dengan bentuk beraturan jika diperlukan. (Agus, 2018)

2.3.1 Gempa Dinamis

Analisa beban gempa pada penelitian ini dilakukan dengan cara analisis gempa dinamis. Menurut Sugeng P Budio beban dinamis dapat berupa variasi besarnya (magnitudo), arahnya, atau posisinya berubah terhadap waktu. Demikian pula respon struktur terhadap beban dinamik, yaitu lendutan dan tegangan yang dihasilkan juga perubahan waktu atau bersifat dinamik.

2.3.2 Menentukan Massa Beban Tiap Lantai

Dalam menentukan nilai dari massa beban lantai yaitu (m) maka digunakan rumus :

$$m_x = \frac{W_x}{g} \quad (2.5)$$

Keterangan :

m_x : massa beban tiap lantai

W_x : distribusi beban tiap lantai (kg)

g : beban gravitasi 981

2.3.3 Menentukan Persamaan Diferensial Gerakan

Menurut Sugeng P Budio untuk persamaan gerak diambil dari hukum Newton kedua yang diberikan untuk setiap massa, dengan rumus yang telah disederhanakan

$$[M].\{\ddot{u}\} + [C].\{\dot{u}\} + [K].\{u\} = 0 \quad (2.6)$$

$$\text{Bila } [C] = 0 \quad (2.7)$$

$$\text{Maka } [M].\{\ddot{u}\} + [K].\{u\} = 0 \quad (2.8)$$

Dirumuskan dengan matriks, maka didapat

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

2.3.4 Menentukan Modal Segmentasi

Untuk menentukan modal segmentasi digunakan rumus yang telah dijabarkan oleh Sugeng P Budio dalam bukunya dinamika struktur :

$$|[K] - \omega^2[M]| \{\phi\} = 0 \quad (2.11)$$

$$\text{Dimana } \{\phi\} \neq 0 \quad (2.12)$$

$$|[K] - \omega^2[M]| = 0 \quad (2.13)$$

Jika dirumuskan dengan matriks, maka didapat

$$\begin{bmatrix} k_x - m_x \omega^2 & -k_x & 0 \\ -k_x & k_x + k_x - m_x \omega^2 & -k_x \\ 0 & -k_x & k_x + k_x - m_x \omega^2 \end{bmatrix} = 0 \quad (2.14)$$

Jika $\lambda = \omega^2$

$$\begin{bmatrix} k_x - m_x \lambda & -k_x & 0 \\ -k_x & k_x + k_x - m_x \lambda & -k_x \\ 0 & -k_x & k_x + k_x - m_x \lambda \end{bmatrix} = 0 \quad (2.15)$$

2.3.5 Menentukan Modal Frekuensi Melingkar (Modal Circular Frequency)

Modal circular frequency ini digunakan untuk menentukan frekuensi alami dan waktu getar bebas pada struktur bangunan. Ada dua cara dalam menentukan modal circular frequency ini yaitu dengan cara :

1. Perhitungan manual
2. Perhitungan dengan *software* Wolfram Mathematic

Dalam penelitian ini akan digunakan perhitungan dengan bantuan Wolfram Mathematic yang nantinya akan didapatkan nilai λ . Setelah didapatkan nilai lambda, untuk mencari frekuensi digunakan rumus

$$\omega_x = \sqrt{\lambda_x} \quad (2.16)$$

Untuk mencari nilai waktu getar alami digunakan rumus

$$T_x = \frac{2\pi}{\omega_x} \quad (2.17)$$

Keterangan :

T : Waktu getar alami

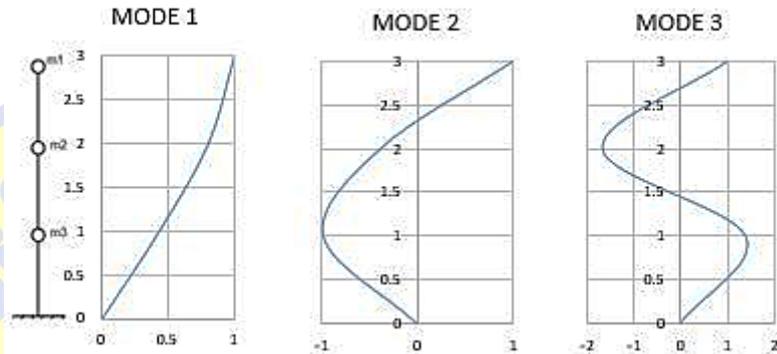
ω_x : Frekuensi alami

2.3.6 Menentukan Mode Sendiri (Eigen Modes)

Nilai dari eigen modes pada persamaan matriks dihasilkan dari perhitungan dengan bantuan software Wolfram Mathematic, seperti dibawah ini

$$\begin{bmatrix} (k_x - m_x \lambda) \phi_1 & (-k_x) \phi_2 & (0) \phi_3 \\ (-k_x) \phi_1 & (k_x + k_x - m_x \lambda) \phi_2 & (-k_x) \phi_3 \\ (0) \phi_1 & (-k_x) \phi_2 & (k_x + k_x - m_x \lambda) \phi_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Dimana nilai dari ϕ_x adalah mode shape dari masing – masing waktu getar alami yang terjadi



Gambar 2.1 : Gambar bentuk mode (mode shape) dengan waktu getar alami masing-masing

2.3.7 Menentukan Kelas Situs (Site Class)

Berdasarkan sifat – sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasikan sebagai kelas situs :

1. SA (batuan keras)
2. SB (batuan)
3. SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)
4. SD (tanah sedang)
5. SE (tanah lunak)
6. SF (tanah khusus)

Sesuai SNI 1726-2012 pada pasal 5.3 penentuan situs kelas harus sesuai dengan tabel dibawah ini

Tabel 2.2 : Klasifikasi kelas situs (SNI 1726-2012)

Kelas Situs	V _x (m/detik)	N atau N _{cb}	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
	<175	<15	<50
SE (tanah lunak)	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, PI > 20 2. Kadar air, w ≥ 40% 3. Kuat geser niralir Su < 25 Kpa 		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organic 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 Su < 50 Kpa		

2.3.8 Menentukan Nilai Percepatan Spektra

Ada tiga nilai yang harus dicari untuk menentukan nilai percepatan spektrum, yaitu :

1. Nilai PGA
2. Nilai Ss
3. Nilai S1

Untuk mencari ketiga nilai diatas dapat dicari pada website yang telah dirilis oleh Kementrian Pekerjaan Umum dengan bantuan yaitu puskim.pu.go.id, dari website tersebut kita dapat mencari dan menentukan nilai PGA, Ss, dan S1.

Sebelum mencari nilai tersebut, hal yang perlu dilakukan adalah mengisi titik koordinat letak bangunan yang akan dibangun atau langsung mengisi nama kota yang akan kita cari.

Pada SNI 1726-2012 disebutkan pada pasal 6.1.1 tentang parameter percepatan terpetakan bahwa parameter Ss (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respon spektral percepatan 0.2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismic pada pasal 14 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan decimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_1 \leq 0.04$ g dan $S_s \leq 0.15$ g, maka struktur bangunan boleh

dimasukkan ke dalam kategori desain seismic A, dan cukup memenuhi persyaratan dalam pasal 6.6.

2.3.9 Menentukan Koefisien Situs (Site Coefficient)

Menurut SNI 1726-2012 pada pasal 6.2 dalam penentuan respon spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, maka diperlukan suatu factor amplifikasi seismic pada periode 0.2 detik dan periode 1 detik. Factor tersebut meliputi F_a yaitu factor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek dan F_v yaitu factor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik.

Tab 2.3 : Tabel koefisien situs, F_a (SNI 1726-2012)

Kelas Situs	Parameter respon spektral 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				

Catatan :

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

Tabel 2.4 : Tabel koefisien situs, F_v (SNI 1726-2012)

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0.2$ detik, S_s				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
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				

Catatan :

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

2.3.10 Menentukan Parameter Percepatan Respon Spektra

Untuk mencari nilai parameter respon spektra percepatan sesuai yang telah dijelaskan pada SNI 1726-2012, untuk parameter respon spektra percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) dapat ditentukan dengan rumus dibawah ini :

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (2.19)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (2.20)$$

Keterangan :

- S_s = Parameter respon spektra percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda pendek.

- S_1 = Parameter respon spektra percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda 1.0 detik.

2.3.11 Menentukan Parameter Percepatan Spektral Desain

SDS parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, dan SD1 untuk perioda 1 detik, dapat ditentukan melalui rumus yang telah dijabarkan pada SNI 1726-2017 pasal 6.3 :

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} \quad (2.21)$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1} \quad (2.22)$$

2.3.12 Desain Respon Spektra

Dalam penentuan desain respon spektra harus mengacu pada rumus yang telah dijabarkan pada SNI 1726-2012, sebagai berikut :

$$T_0 = 0.2 \left(\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \right) \quad (2.23)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.24)$$

$$T_L = \text{Periode panjang (max 4 detik)} \quad (2.25)$$

Jika $T < T_0$, maka :

$$S_{a1} = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.26)$$

Jika $T_0 < T < T_s$, maka :

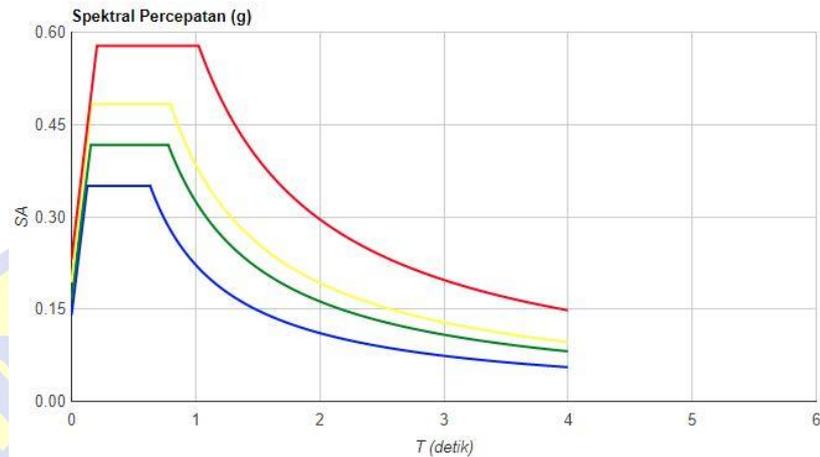
$$S_{a2} = S_{DS} \quad (2.27)$$

Jika $T_s < T < T_L$, maka :

$$S_{a3} = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.28)$$

Jika $T > T_L$, maka :

$$S_{a4} = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2} \quad (2.29)$$



Gambar 2.2 : Desain respon spektrum

2.3.13 Desain Kategori Seismik

Suatu struktur bangunan harus ditetapkan dan memiliki suatu kategori desain seismic. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respon spektra percepatan terpetakan pada periode 1 detik S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0.75 harus ditetapkan sebagai Desain seismic E. Untuk struktur berkategori IV yang berlokasi dimana parameter respon spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik lebih besar atau sama dengan 0.75 termasuk Desain seismic F.

Tabel 2.5 : Kategori desain seismik S_{DS} (SNI 1726-2012)

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I, II, III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D
$S_{DS} \leq 0.167$	D	D

Tabel 2.6 : Kategori desain seismik S_{D1} (SNI 1726-2012)

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I, II, III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D
$S_{DS} \leq 0.167$	D	D

Tabel 2.7 : Kategori risiko bangunan gedung dan non Gedung untuk beban gempa (SNI 1726-2012)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar 	

<ul style="list-style-type: none"> - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/Mall - Bangunan industry - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	
<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 katategori risiki IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar bahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah 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</p>	<p>III</p>

kebocoran	
<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 - 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 atai material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV</p>	IV

Tabel 2.8 : Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726-2012)

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1.0
III	1.25
IV	1.50

2.3.14 Sistem Penahan Gaya Gempa

Menurut SNI 1726-2012 pada pasal 7.2.2 dijelaskan bahwa bila sistem yang berbeda digunakan, masing – masing nilai R , C_d , dan Ω_0 harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam tabel dibawah ini.

Tabel 2.9 : Faktor R , C_d , Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa, untuk sistem rangka pemikul momen (SNI 1726-2012 pasal 7.2.2)

Sistem penahan-gaya seismic	Koefisien modifikasi respon, R	Faktor kuantitas lebih sistem Ω_0	Faktor pembesaran defleksi, C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h (m)				
				Kategori desain seismic				
				B	C	D	E	F
C. Sistem Rangka pemikul momen								
1. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	$5 \frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka beton bertulang	5	3	$4 \frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI

pemikul momen menengah								
3. Rangka beton bertulang momen biasa	3	3	2 1/2	TB	TI	TI	TI	TI

2.3.15 Nilai Perpindahan Pola

Untuk mencari nilai perpindahan pola dari suatu gaya gempa dapat digunakan rumus sebagai berikut.

$$R_i = [\Phi_i]^T \{M\} \quad (2.30)$$

$$M_i = [\Phi_i]^2 \{M\} \quad (2.31)$$

Dari dua rumus diatas di dapat untuk rumus perpindahan pola adalah sebagai berikut.

$$A_i = (R_i/M_i) ((C_d \times g) / \lambda_i) \quad (2.32)$$

2.3.16 Menghitung Nilai Umax

Untuk mendapatkan nilai Umax digunakan rumus dibawah ini

$$U_i = \sqrt{[\sum A_j \Phi_j^2]^{0.5}} \quad (2.33)$$

2.3.17 Menghitung Gaya Gempa Perlantai

Gaya gempa disimbolkan F , pada buku Dinamika Struktur karya Sugeng, dijelaskan untuk mencari nilai dari gaya gempa digunakan rumus

$$F = [K] \{u_i\} \quad (2.34)$$

2.4 Perencanaan Awal (*Preliminary Design*)

Sebelum dilakukan pemodelan struktur pada program ETABS, terlebih dahulu dilakukan perhitungan awal atau preliminary desain guna menentukan ukuran dimensi dari kolom, balok, dan plat yang akan dimasukkan kedalam pemodelan di program ETABS.

2.4.1 Desain Pelat

Pendesainan untuk pelat apabila pelat tersebut dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya, maka ketentuan sesuai SNI 03-2847-2013 adalah :

- Untuk α_m yang sama atau lebih kecil dari 0.2, harus menggunakan pasal 9.5.3.2
- Untuk α_m lebih besar dari 0.2 tapi tidak lebih dari 2.0, h tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{\ln\left(0.8 + \frac{fy}{1400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0.2)} \quad (2.35)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm;

- Untuk α_m lebih besar dari 2.0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{\ln\left(0.8 + \frac{fy}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \quad (2.36)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm;

- Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α tidak kurang dari 0.8 atau sebagai

alternatif ketebalan minimum yang ditentukan persamaan (2.30) atau (2.31) harus dinaikan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

2.4.2 Desain Balok

Untuk perencanaan balok sesuai SNI 03-2847-2013 digunakan perhitungan sebagai berikut :

$$h = \frac{1}{8}L \text{ atau } h = \frac{1}{12}L \quad (2.37)$$

2.4.3 Desain Kolom

Pada pendesainan dimensi kolom, yang dinyatakan oleh SNI 03-2847-2013 pada pasal 8.10.1 bahwa kolom harus dirancang untuk bisa menahan gaya aksial (P) dari beban terfaktor pada semua lantai ataupun atap serta momen maksimum dari beban terfaktor pada suatu bentanglantai atau atap bersebelahan yang ditinjau.

Dalam perhitungan yang digunakan untuk menentukan besaran dimensi yang digunakan adalah :

- Untuk kolom persegi :

$$A_g \geq \frac{P_u}{\phi 0.45 (f_c' + \rho_t f_y)} \quad (2.38)$$

- Untuk Kolom Bulat :

$$A_g \geq \frac{P_u}{\phi 0.55 (f_c' + \rho_t f_y)} \quad (2.39)$$

2.4.4 Desain Sloof

Sloof yang di desain untuk bekerja sebagai pengikat horizontal antara poer atau fondasi tapak harus memiliki tulangan longitudinal menerus dan harus disalurkan dalam atau melewati kolom yang ditumpu atau diangkur dalam poer atau fondasi tapak pada semua diskontinuitas.

Untuk menentukan dimensi dari sloof sendiri, digunakan rumusan sebagai berikut :

$$h = \frac{1}{10}L \quad (2.40)$$

2.4.5 Fondasi atau Poer

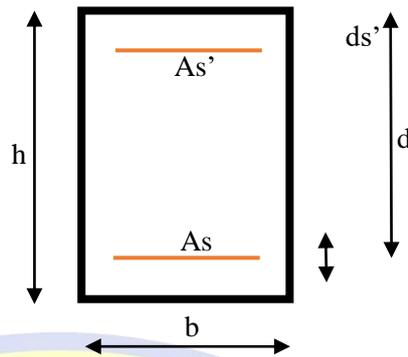
Fondasi adalah suatu jenis konstruksi yang menjadi dasar dan fondasi ini berfungsi sebagai penopang bangunan yang ada di atasnya dan ini bertujuan untuk diteruskan secara bertahap dan merata ke lapisan tanah.

2.5 Perhitungan Tulangan

2.5.1 Tulangan Balok

2.5.1.1 Tulangan Longitudinal

Pemasangan tulangan longitudinal ini difungsikan untuk menahan gaya tarik, tulangan ini dilakukan pemasangan pada daerah yang menahan momen lentur besar umumnya di daerah lapangan atau tumpuan, tulangan ini dipasang searah sumbu batang atau bentang dari balok.



Gambar 2.3 : Desain Balok

Keterangan :

- As : Luasan tulangan tarik
- As' : Luasan tulangan tekan
- B : Lebar penampang balok
- ds' : Jarak dari selimut beton dengan tulangan.
- d : tinggi efektif penampang
- h : tinggi penampang kolom

jumlah tulangan maksimum pada baris dapat ditentukan dengan cara :

$$m = \frac{b - 2xds_1}{D + Sn} + 1 \quad (2.41)$$

Keterangan :

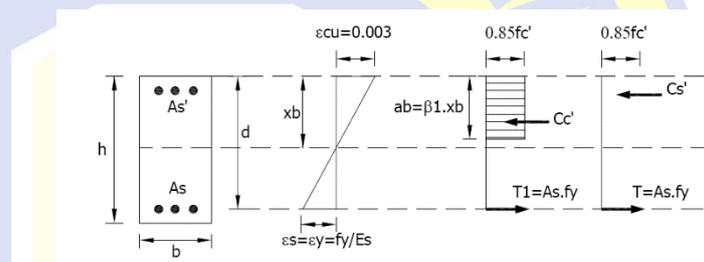
- m : jumlah tulangan maksimal yang dapat dipasang dalam 1 baris
- b : lebar balok

- ds1 : jarak dari selimut beton dengan tulangan

- D : diameter tulangan

- Sn : jarak bersih antar tulangan pada arah mendatar

Rumus untuk mencari besaran atau tulangan longitudinal yang akan dipakai adalah sebagai berikut :



Gambar 2.4 : Diagram tegangan tulangan rangkap

1. Ambil suatu harga $x \leq 0.6 x_b$

$$Xb = \frac{600}{600+f_y} x D \quad (2.42)$$

2. Ambil Asc berdasarkan x rencana.

$$Asc = \frac{0.85 x \beta_1 f_c' b x}{f_y} \quad (2.43)$$

3. Hitung Mnc.

$$Mnc = Asc x f_y \left(d - \frac{\beta_1 x}{2} \right) \quad (2.44)$$

4. Hitung Mn – Mnc

- Jika :

$M_n - M_{nc} > 0$ (tul. tekan)

$M_n - M_{nc} < 0$ (tidak perlu tul. tekan)

5. Bila digunakan tulangan tekan :

$$C_s' = T_2 = \frac{M_n - M_{nc}}{d - d'} \quad (2.45)$$

6. Kontrol tulangan tekan leleh

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) 600 \geq f_y, \text{ maka } f_s' = f_y \quad (2.46)$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) 600 < f_y, \text{ maka } f_s' = f_s' \quad (2.47)$$

7. Hitung tulangan tekan perlu dan tulangan tarik tambahan

$$A_s' = \frac{C_s'}{f_s' - 0.85 f_c'} \quad , \quad A_{ss} = T_s / f_y \quad (2.48)$$

8. Tulangan perlu

$$A_s = A_{sc} + A_{ss} \quad (2.49)$$

$$A_s' = A_s' \quad (2.50)$$

9. Kontrol kekuatan

$$\phi M_n \geq M_u \quad (2.51)$$

2.5.1.2 Tulangan Geser

Tulangan geser atau tulangan sengkang adalah tulangan yang digunakan untuk menahan tegangan geser dan torsi dalam suatu komponen struktur.

Langkah yang harus dilakukan dalam perhitungan tulangan geser sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pada pasal

11.2.1.1 yang berbunyi untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja, digunakan rumus :

$$V_c = 0.17 \lambda \sqrt{f_c'} b d \quad (2.52)$$

Untuk menghitung kuat geser dari tulangan geser digunakan rumus.

$$V_{s \min} = \frac{1}{3} x b x d \quad (2.53)$$

$$V_{s \max} = 0.29 \lambda \sqrt{f_c'} b d \quad (2.54)$$

$$2V_{s \max} = 2 \cdot 0.29 \lambda \sqrt{f_c'} b d \quad (2.55)$$

Berdasarkan dari syarat tulangan geser sendiri ada 5 kondisi atau zona yang digunakan sebagai penentuan tulangan geser. Rumus yang digunakan adalah.

1. Zona 1

$$V_n \leq V_c/2 \quad (2.56)$$

Jarak sengkang : Tidak perlu sengkang

2. Zona 2

$$V_c/2 < V_n \leq V_c \quad (2.56)$$

Jarak sengkang :

$$- \delta = 16/\sqrt{f_c'} \quad \text{Minimum} \quad (2.57)$$

$$- s \leq \frac{\delta A_v f_y}{b} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{Diambil yang terkecil} \quad (2.58)$$

$$- s \leq \frac{d}{2} \quad (2.59)$$

$$- s \leq 600 \quad (2.60)$$

3. Zona 3

$$V_c < V_n < 3V_c \quad (2.61)$$

Jarak sengkang :

- $s \leq \frac{A_v f_y d}{V_s}$ } Diambil yang terkecil (2.62)

- $s \leq \frac{d}{2}$ } (2.63)

- $s \leq 600$ (2.64)

4. Zona 4

$$3V_c < V_n < 5V_c \quad (2.65)$$

Jarak sengkang :

- $s \leq \frac{A_v f_y d}{V_s}$ } Diambil yang terkecil (2.66)

- $s \leq \frac{d}{4}$ } (2.67)

- $s \leq 600$ (2.68)

5. Zona 5

$$V_n > 5V_c \quad (2.69)$$

Jarak sengkang : dimensi diperbesar

Dari rumusan diatas untuk menentukan jarak dari sengkang atau tulangan geser maka diambil nilai terkecil dari perhitungan zona sengkang diatas yang memenuhi syarat.

2.5.2 Tulangan Kolom

2.5.2.1 Kuat Lentur Minimum Kolom

SNI 03-2847-2013 memberikan persyaratan untuk kuat lentur kolom harus memenuhi persyaratan dibawah ini :

$$\Sigma Me \geq \left(\frac{6}{5}\right) \Sigma Mg \quad (2.70)$$

Keterangan :

ΣMe : jumlah momen pada pusat bangunan hubungan balok – kolom yang didapat dari gaya aksial terfaktor.

ΣMg : jumlah momen pada pusat hubungan balok – kolom dimana tulangan pelat yang berada dalam daerah lebar efektif pelat ikut diperhitungkan.

2.5.2.2 Tulangan Transversal

Sesuai SNI 03-2847-2013 pada pasal 2.6.4 tentang tulangan transversal yang disyaratkan dalam pasal 21.6.4.2 sampai 21.6.4.4 harus dipasang panjang l_o dari setiap muka joint dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur seperti terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis rangka.

Panjang l_o disyaratkan :

- $l_o \geq h$
- $l_o \geq 1/6 l_n$
- Dipakai l_o yang paling besar.

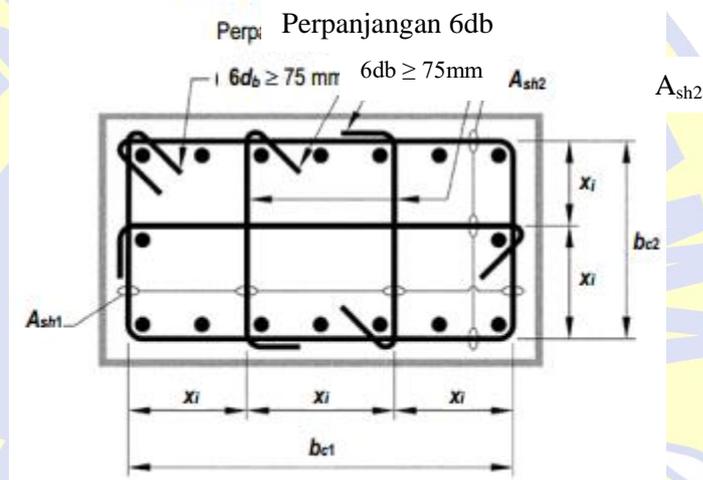
Penentuan jarak S sesuai SNI 03-2847-2013 pada pasal 21.6.4.3 tidak boleh lebih dari 1.4 dari dimensi terkecil, enam

kali diameter tulangan longitudinal dan mencari nilai S_x digunakan persamaan.

$$S_o = 100 + \left(\frac{350 - hx}{3} \right) \quad (2.71)$$

Dengan syarat nilai dari S_o tidak boleh melebihi 150mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100mm.

Pengikat silang berturutan yang mengikat tulangan longitudinal yang sama mempunyai kait 90 derajat pada sisi kolom yang berlawanan



Gambar 2.5 : Contoh tulangan transversal pada kolom
Pada persyaratan SNI 03-2847-2013 tentang luas penampang

Dimensi x_i dari garis pusat ke garis pusat kaki – kaki pengikat tidak melebihi 350mm. Rumus hx yang digunakan persamaan (5.8) diambil sebagai nilai terbesar dari x_i .

total tulangan sengkang persegi, A_{sh} tidak boleh kurang dari yang disyaratkan oleh persamaan dibawah ini :

$$A_{sh} = 0.3 \frac{S_b c f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (2.72)$$

$$A_{sh} = 0.09 \frac{S_b c f'_c}{f_{yt}} \quad (2.73)$$

2.5.2.3 Tulangan Transversal Untuk Beban Geser

Keutuhan tulangan geser kolom ditentukan dengan kuat momen maximum M_{pr} , M_{pr} ini ditentukan berdasarkan tentang beban aksial terfaktor yang mungkin terjadi dengan $\phi = 1.0$. Pengambilan M_{pr} ini diambil sama dengan momen balance diagram interaksi kolom dengan menggunakan $f_s = 1.25f_y$.

Karena M_{pr} sama dengan momen balance maka nilai V_c dapat dicari dengan persamaan :

$$V_c = \frac{(2 \times M_{pr})}{h} \quad (2.74)$$

Dengan asumsi pada momen lentur diatas kolom dan dibawah kolom penyangga lantai sama, maka gaya geser dapat di Desain berdasarkan M_{pr+} dan M_{pr-} dari balok yang bertemu dengan kolom, dimana :

$$V_u = \frac{(M_{pr+}) + (M_{pr-})}{l_1} < V_e \quad (2.75)$$

Berdasarkan nilai A_s dan S pada tulangan pengekang, sesuai SNI 03-2847-2013 pada pasal 21.6.5 yaitu :

$$V_s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (2.76)$$

Dimana :

$$\phi \cdot (V_s + V_c) > V_u \quad (2.77)$$

Dimana pada jarak S sama dengan ketentuan pada tulangan pengekang.

2.5.2.4 Sambungan Tulangan Lewatan Kolom

Sambungan lewatan tulangan kolom dapat dihitung dengan

rumus :

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{9fy}{10\sqrt{fc}} \cdot \frac{\alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \lambda}{\frac{(c+K_{tr})}{d_b}} \quad (2.78)$$

2.5.3 Hubungan Balok Kolom

Hubungan balok kolom yang terkekang pada keempat sisinya berlaku kuat geser nominal

$$\phi \cdot V_c = 0.75 \cdot 1.7 \cdot A_1 \cdot \sqrt{fc} > \text{dari } V_x - x \quad (2.79)$$

2.5.4 Fondasi

2.5.4.1 Fondasi Tiang Pancang

Tiang pancang adalah bagian – bagian konstruksi yang dibuat dari kayu, beton, dan atau baja, yang digunakan untuk meneruskan (mentransmisikan) beban-beban permukaan ke tingkat-tingkat permukaan yang lebih rendah di dalam massa tanah. Fungsi dan kegunaan dari fondasi tiang pancang adalah untuk memindahkan atau mentransfer beban-beban dari konstruksi di atasnya (super struktur) ke lapisan tanah keras yang letaknya sangat dalam (Hutami, 2013).

Dalam pengaplikasiannya tiang pancang dibedakan menjadi dua yaitu :

1. Tiang pancang tunggal

Untuk tiang pancang tunggal ada dua hal yang dapat menentukan daya dukungnya yaitu daya dukung perlawanan tanah dan gaya dukung dari unsur lekatan lateral tanah.

Menurut Luciano Decourt (1982) perhitungan daya dukung tiang pancang ini dilakukan berdasarkan hasil uji Standart Penetration Test (SPT), dengan menggunakan rumus :

$$Q_1 = Q_p + Q_s \quad (2.80)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} Q_p &= q_p \cdot A_p \\ &= (N_p \cdot K) A_p \end{aligned} \quad (2.81)$$

Keterangan :

N_p : Harga rata-rata SPT disekitar 4B diatas hingga 4B dibawah dasar tinag fondasi.

K : Koefisien karakteristik tanah.

Untuk nilai koefisien karakteristik tanah:

12 t/m²: tanah lempung

20 t/m²: tanah lanau berlempung

25 t/m²: tanah lanau berpasir

40 t/m²: tanah pasir

A_p : Luas penampang dasar tiang

q_p : tegangan diujung tiang

$$\begin{aligned} Q_s &= q_s A_s \\ &= (N_s/3 + 1) A_s \end{aligned} \quad (2.82)$$

Keterangan :

q_s : tegangan akibat letakan lateral dalam t/m²

N_s : harga rata-rata sepanjang tiang yang tertanam dengan batasan $3 \leq N \leq 50$

A_s : keliling x panjang tiang yang tertanam.

Untuk mencari nilai daya dukung ijin dari suatu tiang pancang digunakan rumus :

$$Q_{ijin\ 1\ tiang} = Q_u / S_f \quad (2.83)$$

Keterangan :

S_f : *safety factor* 3

N' : harga SPT dilapangan

N : harga SPT setelah dikoreksi

$$: 15 + ((N' - 15) / 2)$$

2. Tiang pancang kelompok

Pada pancang kelompok tiang fondasi tidak perlu diperhitungkan daya dukung batasnya apabila jarak as ke as adalah > 3 m, namun apabila jarak antar tiang adalah $2 - 2.5$ diameter tulang maka harus dipertimbangkan daya dukung batasnya.

Pada daya dukung fondasi kelompok harus dikorelasikan terlebih dahulu dengan koefien efisiensi C_e , dengan menggunakan rumus :

$$Q_l (group) = Q_l (tiang) \times n \times C_e \quad (2.84)$$

Dengan cara *Converse – Labarre*, kita dapat menghitung koefisien efisiensi C_e :

$$C_e = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{\phi}{s}\right)}{90^\circ} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right) \quad (2.85)$$

Keterangan :

ϕ : diameter tiang fondasi

S : jarak tiang dalam grup (as – as)

m : jumlah baris tiang

n : jumlah kolom tiang dalam group

