

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Bangunan Gedung

Dalam membangun suatu bangunan gedung diperlukan suatu kualitas struktur yang baik dan kuat untuk mendapat hasil yang diinginkan. Struktur bangunan merupakan bagian-bagian yang terbentuk untuk mendirikan sebuah bangunan (Siboro dkk., 2013). Pada umumnya struktur bangunan dibagi menjadi dua bagian yaitu struktur bagian atas (*upper structure*) dan struktur bagian bawah (*lower structure*). Yang dimaksud dari struktur bagian atas adalah struktur bangunan yang berada di atas permukaan tanah, contohnya seperti balok, kolom, plat, atap, tangga. Sedangkan yang dimaksud dari struktur bagian bawah adalah struktur bangunan yang berada dibawah permukaan tanah, contohnya seperti pondasi. Pada umumnya terdapat dua tipe material yang digunakan untuk membangun bangunan antara lain yaitu bangunan struktur beton bertulang dan bangunan struktur baja.

Dalam perencanaan yang akan dibahas pada Proyek Akhir ini adalah perencanaan dengan menggunakan struktur beton bertulang. Beton merupakan bahan bangunan yang terbuat dari campuran homogen antara semen, agregat dan air. Sedangkan tulangan merupakan batang baja yang digunakan untuk memperkuat dan membantu beton di bawah tekanan. Alasan dari dipakainya beton bertulang sebagai bahan baku utama dalam perencanaan struktur bangunan ini (Purwanto & Wardani, 2020) adalah sebagai berikut:

1. Lebih kuat terhadap gaya tekan;
2. Biaya pemeliharaan beton yang rendah dan memiliki umur layan yang panjang;
3. Mudah dibentuk;
4. Membentuk struktur yang sangat kaku.

Namun ada juga kekurangan yang dimiliki oleh beton bertulang dibanding material bangunan yang lain, antara lain:

1. Waktu pengerjaan beton bertulang lebih lama;
2. Kurangnya kuat tarik;

3. Ukuran dimensi penampang struktur beton umumnya lebih besar dibandingkan struktur baja, sehingga akan menghasilkan struktur yang lebih berat.

Pada desain struktur gedung umumnya ada tiga komponen penting yang harus diperhatikan, yaitu data, proses, dan output (Nurjaman, 2019). Data terdiri dari desain arsitek, penyelidikan tanah, lokasi gedung, peraturan-peraturan yang diberlakukan untuk seluruh perencanaan struktur gedung. Sehingga dari semua data yang sudah dikumpulkan kemudian masuk pada komponen kedua yaitu proses. Pada tahap proses, data yang sudah didapatkan akan dikelola untuk mengetahui jenis struktur yang diinginkan seperti contoh, material yang digunakan, jenis pondasi yang akan dipakai, dimensi-dimensi struktur, titik zona gempa pada lokasi gedung, dan lain sebagainya. Kemudian dari data yang sudah dikelola akan dipakai untuk menganalisis struktur untuk mendesain tulangan-tulangan yang dibutuhkan pada struktur dan perhitungan volume pekerjaan. Pada tahap terakhir yaitu output, semua akan disatukan dalam bentuk laporan perhitungan struktur dan gambar struktur yang akan menjelaskan secara detail dari desain struktur bangunan tersebut.

2.2 Standar Desain

Perencanaan struktur gedung bangunan harus sesuai dengan peraturan dan standar spesifikasi teknis yang berlaku. Peraturan perencanaan yang digunakan didasarkan pada pedoman sebagai berikut:

1. Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727:2018)
2. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung (SNI 1726:2019)
3. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847:2019)

2.3 Pembebanan pada Struktur

Peraturan perencanaan bangunan yang tertulis dalam SNI mensyaratkan bahwa struktur bangunan harus dirancang untuk dapat menahan semua jenis beban yang

mungkin terjadi selama siklus hidup bangunan tersebut. Beban-beban yang dapat terjadi pada struktur biasanya dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Beban Mati (*Dead Load*), dinyatakan dengan lambang D
2. Beban Hidup (*Live Load*), dinyatakan dengan lambang L
3. Beban Gempa (*Earthquake Load*), dinyatakan dengan lambang E

Berdasarkan SNI 1727-2018 beban-beban yang bekerja seperti pada subsubbab II.3.1., II.3.2., dan II.3.3 yang diterima struktur bangunan.

2.3.1 Beban Mati

Beban mati adalah beban yang terkait dengan berat struktur itu sendiri, yang bersifat tetap, diam, dan relatif konstan dari waktu ke waktu. Beban mati terdiri dari beban mati dari elemen struktur itu sendiri dan beban mati tambahan (Dewi dkk, 2019). Beban mati dari berat elemen struktur itu sendiri terdiri dari berat sendiri struktur pelat, tangga, balok, kolom, struktur atap, dan pondasi. Beban mati tambahan yang dimaksud adalah beban tambahan seperti beban dinding, elektrik, lantai keramik, elemen plafon, *finishing*, dan lainnya.

2.3.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang bersifat sementara, dapat berubah, dan dapat berpindah-pindah (Dewi dkk, 2019). Contoh beban hidup yaitu penghuni yang dapat berpindah-pindah, sehingga dapat mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai atau atap. Beban hidup yang direncanakan adalah sebagai berikut:

1. Beban hidup pada lantai gedung:
Beban hidup yang digunakan pada lantai gedung mengacu pada standar pedoman pembebanan yang ada, yaitu sebesar 250 kg/m^2 .
2. Beban hidup pada atap gedung:
Beban hidup yang digunakan pada atap gedung mengacu pada standar pedoman pembebanan yang ada, yaitu sebesar 100 kg/m^2 .
3. Beban hidup pada area parkir:

Beban hidup yang digunakan pada area parkir gedung mengacu pada standar pedoman pembebanan yang ada, yaitu sebesar 800 kg/m².

2.3.3 Beban Gempa

Gempa merupakan bencana alam yang tidak dapat dihindari. Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan terkena bencana gempa. Beban gempa adalah beban yang bekerja pada struktur akibat pergerakan dari tanah yang disebabkan oleh gempa bumi yang mempengaruhi struktur bangunan (Liono , 2002). Oleh karena itu pada daerah yang rawan gempa perlu memperhitungkan beban gempa pada struktur bangunan tersebut. Risiko gempa yang terjadi di tiap kota berbeda-beda, maka dari itu dapat mengikuti aturan “Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung” SNI 1726:2019 sebagai acuan untuk menghitung beban gempa pada kota Jakarta Barat. Berikut perencanaan beban gempa menurut SNI 1726:2019 pada subsubbab 2.3.3.1 sampai 2.3.3.8.

2.3.3.1 Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan

Pada tabel II.1 dibawah ini merupakan pemabagian kategori risiko sesuai dengan tipe-tipe bangunan yang akan dirancang. Pemabagian kategori dibagi menjadi empat kategori sesuai dengan kegunaan gedung yang akan dirancang. Untuk kategori pertama merupakan gedung/struktur yang memiliki risiko paling rendah, sedangkan kategori risiko keempat merupakan gedung/struktur yang memiliki risiko paling tinggi. Untuk berbagai risiko struktur gedung sesuai pada tabel 2.1 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa (I_e) sesuai pada setiap kategori di tabel 2.2.

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
1. Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan	I
2. Fasilitas sementara	
3. Gudang penyimpanan	
4. Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	

<ol style="list-style-type: none"> 1. Perumahan 2. Rumah tinggal dan rumah kantor 3. Pasar 4. Gedung perkantoran 5. Gedung apartemen / rumah susun 6. Pusat perbelanjaan / mall 7. Bangunan industri 8. Fasilitas manufaktur 9. Pabrik 	II
<ol style="list-style-type: none"> 1. Bioskop 2. Gedung pertemuan 3. Stadion 4. Fasilitas Kesehatan 5. Fasilitas penitipan anak 6. Penjara 	III
<ol style="list-style-type: none"> 1. Bangunan-bangunan monumental 2. Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan 3. Rumah ibadah 4. Fasilitas pemadam kebakaran 	IV

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.3.3.2 Kelas Situs dan Koefisien Situs

Terdapat beberapa kelas situs lapisan tanah pada suatu proyek yang dapat dikategorikan dari situs kelas A hingga F. Berikut tabel 2.3 berupa penjelasan dari setiap kelas situs pada lapisan tanah berdasarkan SNI 1726:2019.

Tabel 2.3 Kelas Situs

Kelas Situs	Keterangan
SA	Batuan keras
SB	Batuan
SC	Tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak
SD	Tanah sedang
SE	Tanah lunak
SF	Tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs

(Sumber: SNI 1726:2019)

Setelah menentukan kelas situs, maka selanjutnya dapat menentukan besar koefisien situs F_a dan F_v . Koefisien situs merupakan suatu faktor yang dipakai untuk menentukan respons spectral percepatan gempa dipermukaan tanah. Di bawah ini pada tabel 2.4 sebagai koefisien situs F_a yang merupakan faktor getaran yang terkait percepatan pada getaran periode pendek. Sedangkan pada tabel 2.5 sebagai koefisien F_v yang merupakan faktor getaran yang terkait percepatan pada getaran periode 1 detik.

Tabel 2.4 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek $T = 0.2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 2.5 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek $T = 1$ detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

(Sumber: SNI 1726:2019)

Nilai F_a dan F_v selanjutnya digunakan untuk menghitung parameter respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan pada periode 1 detik (S_{MI}), yang ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \dots\dots\dots(2-1)$$

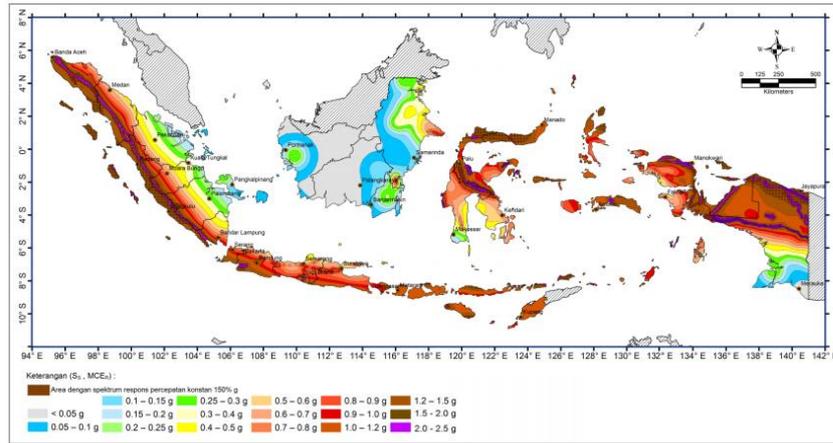
$$S_{MI} = F_v S_I \dots\dots\dots(2-2)$$

Keterangan:

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek

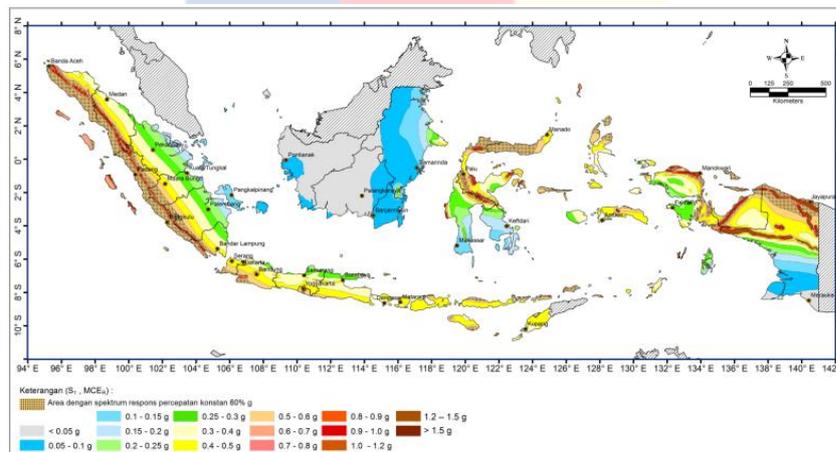
S_I = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik

Untuk mendapat nilai S_s dan S_I , dilihat dari gambar peta parameter gerak tanah S_s dan S_I . Dapat dilihat pada gambar 2.1 untuk peta parameter gerak tanah S_s dan gambar 2.2 untuk peta parameter gerak tanah S_I .



Gambar 2.1 Peta Parameter Gerak Tanah S_s , Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0,2 Detik (rendaman kritis 5%)

(Sumber: SNI 1726:2019)



Gambar 2.2 Peta Parameter Gerak Tanah S_s , Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 1 Detik (rendaman kritis 5%)

(Sumber: SNI 1726:2019)

Setelah mendapat nilai S_{MS} dan S_{MI} , maka parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan untuk periode 1 detik (S_{DI}) dapat dihitung dengan perumusan berikut ini:

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

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \dots \dots \dots (2-4)$$

2.3.3.3 Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik dibagi menjadi 6 bagian yaitu kategori A, B, C, D, E, dan F seperti pada tabel 2.3. Kategori desain seismik ditentukan berdasarkan hasil dari S_{DS} dan S_{DI} dapat dilihat pada tabel 2.6 dan tabel 2.7.

Tabel 2.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode Pendek

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode 1 Detik

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.3.3.4 Sistem Struktur

Sistem struktur penahan gaya gempa lateral dan seismik harus dipilih berdasarkan kategori desain seismik dan ketinggian struktur. Berikut beberapa tipe-tipe sistem struktur khusus-nya sistem rangka pemikul momen beton bertulang seperti tabel 2.8 berdasarkan SNI 1726:2019.

Tabel 2.8 Faktor R, Cd, dan Ω untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem Rangka Pemikul Momen Beton Bertulang	Koefisien modifikasi respons (R)	Faktor kuat lebih sistem (Ω)	Faktor pembesaran defleksi (Cd)	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
Khusus	8	3	5.5	TB	TB	TB	TB	TB
Menengah	5	3	4.5	TB	TB	TI	TI	TI
Biasa	3	3	2.5	TB	TI	TI	TI	TI

(Sumber: SNI 1726:2019)

Keterangan:

TB : Tidak dibatasi

TI : Tidak diijinkan

Pada tabel 2.8 merupakan faktor R, Cd, dan Ω untuk sistem pemikul gaya seismic. Menurut SNI 1726-2019, sistem rangka pemikul momen (SRPM) adalah sistem struktur yang pada dasarnya memiliki ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Dalam perencanaan bangunan struktur beton tahan gempa, sistem rangka pemikul momen beton bertulang dibagi menjadi tiga bagian, yaitu:

1. Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK), untuk daerah yang berada di wilayah yang memiliki risiko gempa yang tinggi. Dengan kategori desain seismik D, E, dan F.
2. Sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM), untuk daerah yang berada di wilayah yang memiliki risiko gempa yang sedang. Dengan kategori desain seismik C.
3. Sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB), untuk daerah yang berada di wilayah yang memiliki risiko gempa yang rendah. Dengan kategori desain seismik B.

2.3.3.5 Penentuan Periode Fundamental Struktur

Periode fundamental struktur tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (C_u) pada tabel 2.9. Periode fundamental struktur (T) dapat dihitung dengan persamaan periode fundamental pendekatan (T_a). Periode fundamental pendekatan merupakan fungsi dari ketinggian struktur (h_n).

Tabel 2.9 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang dihitung (C_u)

Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, SD1	Koefisien (C_u)
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber: SNI 1726:2019)

Periode fundamental pendekatan (T_a) dalam detik, dapat ditentukan melalui persamaan berikut (SNI 1726:2019);

$$T_a = C_t h_n^x \dots \dots \dots (2-5)$$

Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x dapat ditentukan melalui tabel II.10.

Tabel 2.10 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing tertekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.3.3.6 Menghitung Koefisien Respons Seismik

Koefisien respons Seismik (C_s), harus dihitung dengan persamaan (2-6 – 2-8) dibawah ini (SNI 1726:2019);

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots \dots \dots (2-6)$$

Untuk batas maksimum;

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots \dots \dots (2-7)$$

Untuk batas minimum;

$$C_s = 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01 \dots \dots \dots (2-8)$$

Keterangan:

- S_{DS} = parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek
- S_{D1} = parameter percepatan spectral desain untuk periode 1 detik
- R = koefisien modifikasi respons pada tabel 2.8
- I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan pada tabel 2.2

2.3.3.7 Perhitungan Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismic (V) dalam arah yang ditetapkan dapat dihitung melalui persamaan berikut (SNI 1726:2019);

$$V = C_s W_t \dots \dots \dots (2-9)$$

Keterangan:

- C_s = koefisien respons seismic
- W_t = total beban bangunan yang berperan sebagai berat seismic efektif

2.3.3.8 Perhitungan Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya gempa lateral (F_x) disetiap tingkat harus dihitung melalui persamaan berikut ini (SNI 1726:2019);

$$F_x = C_{vx} V \dots \dots \dots (2-10)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots \dots \dots (2-11)$$

Keterangan:

F_x = gaya gempa lateral

C_{vx} = seismi distribusi seismic

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

w_x dan w_i = berat seismic efektif total struktur (W) pada tingkat I atau x

h_x dan h_i = tinggi dari dasar sampai tingkat I atau x (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur, dengan ketentuan sebagai berikut:

1. untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$
2. untuk struktur dengan $T \geq 0,25$ detik, $k = 2$
3. untuk struktur dengan $0,5 < T < 0,25$ detik, $k = 2$ atau interpolasi linear antara 1 dan 2.

2.4 Pengecekan Simpangan Antar Lantai yang Diijinkan

Berdasarkan SNI 1726-2019 bahwa simpangan antar lantai desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin (Δ_a) dengan tujuan untuk mencegah terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton jika terjadinya gempa (Soelarso & Baehaki, 2017). Simpangan antar lantai ijin menurut SNI 1726-2019 dapat dilihat pada tabel 2.11.

Tabel 2.11 Simpangan antar tingkat ijin (Δ_a)

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasikan simpangan antar lantai tingkat.	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

(Sumber: SNI 1726-2019)

Simpangan yang terjadi pada pusat massa di tingkat- x (δ_x) (mm) harus dihitung dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots \dots \dots (2-12)$$

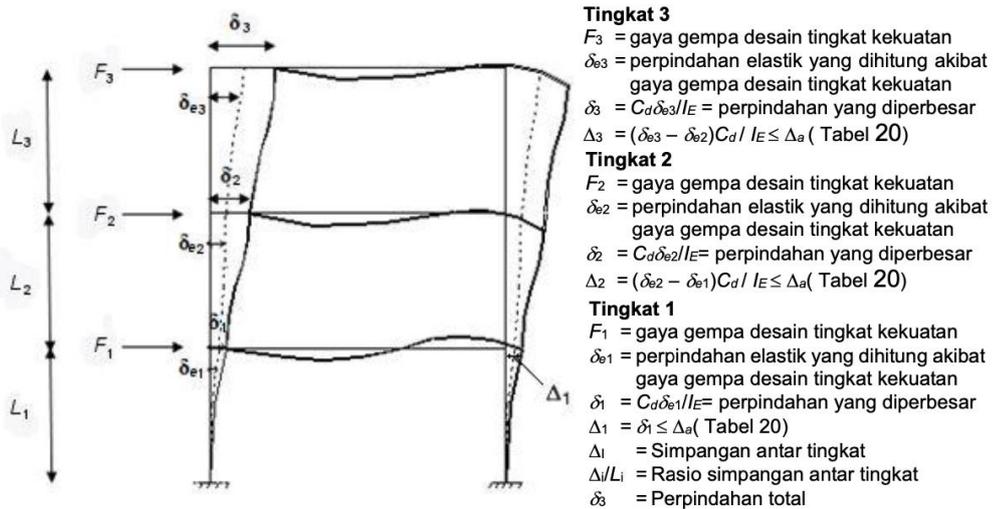
Keterangan:

C_d = faktor pembesaran defleksi pada Tabel 2.8

δ_{xe} = simpangan di tingkat- x yang ditentukan dengan analisis elastic

I_e = faktor keutamaan gempa pada Tabel 2.2

Pada Gambar 2.3 dapat dilihat konsep dari simpangan antar lantai.



Gambar 2.3 Penentuan Simpangan Antar Lantai.

(Sumber: SNI 1726-2019)

2.5 Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan

Untuk memenuhi kebutuhan desain, sistem struktur perlu diperhitungkan dengan kombinasi pembebanan (*load combination*). Faktor beban dan kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perencanaan struktur dapat mengikuti standar (SNI 2847-2019) pasal 11. Beberapa kombinasi pembebanan yang harus ditinjau, sebagai berikut:

- a. $U = 1,4D$
- b. $U = 1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
- c. $U = 1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$

- d. $U = 1,2D + 0,2SDS.D + 1,3E + L$
- e. $U = 1,2D + 0,2SDS.D - 1,3E + L$
- f. $U = 0,9D - 0,2SDS.D + 1,3E$
- g. $U = 0,9D - 0,2SDS.D - 1,3E$

2.6 Faktor Reduksi Kekuatan

Dalam menentukan kuat rencana suatu struktur, kuat minimalnya harus direduksi dengan faktor reduksi kekuatan sesuai dengan sifat beban yang bekerja. Nilai faktor reduksi dapat dilihat berdasarkan SNI 2847-2019. Berikut table 2.12 adalah faktor reduksi kekuatan.

Tabel 2.12 Faktor Reduksi Kekuatan

Kondisi Pembebanan	Faktor Reduksi (Φ)
Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0.65 - 0.9
Gaya aksial tarik, aksial tarik dengan lentur	0.8
Gaya aksial tekan, aksial tekan dengan lentur	
1. Dengan tulangan spiral	0.7
2. Dengan tulangan biasa	0.65
Lintang dan torsi	0.75
Tumpuan pada beton	0.65

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.7 Perletakan/Tumpuan

Perletakan atau tumpuan ini merupakan tempat perletakan konstruksi untuk dukungan bagi beban yang bekerja dalam meneruskan gaya-gaya yang bekerja menuju pondasi. Dalam dunia konstruksi terdapat 3 jenis tumpuan yang berbeda, yaitu tumpuan jepit, sendi, dan rol (Dewi dkk., 2019). Berikut ini merupakan penjelasan mengenai masing-masing tumpuan;

1. Tumpuan Jepit

Tumpuan jepit bisa diartikan sebagai perletakan sebuah balok yang ujungnya terjepit atau tumpuan tetap. Balok yang ada pada tumpuan jepit pada tembok akan tetap tegak lurus terhadap bidang tembok. Tumpuan jepit

dapat memberikan reaksi atau tahanan terhadap gaya horizontal, vertikal, dan maupun reaksi terhadap momen. Tumpuan jepit dapat diilustrasikan seperti gambar 2.4.

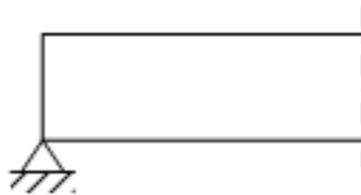


Gambar 2.4 Tumpuan Jepit

(Sumber: Setiawan, 2016)

2. Tumpuan Sendi

Tumpuan sendi memiliki sifat yang dapat berotasi tetapi tidak memungkinkan perpindahan horizontal maupun vertikal, artinya tumpuan sendi dapat menahan gaya horizontal dan vertikal. Tumpuan sendi tidak dapat menahan momen atau disebut tumpuan sederhana. Tumpuan sendi dapat diilustrasikan seperti gambar 2.5.

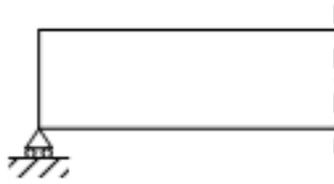


Gambar 2.5 Tumpuan Sendi

(Sumber: Setiawan, 2016)

3. Tumpuan Rol

Tumpuan rol memungkinkan rotasi dan perpindahan horizontal, akan tetapi perpindahan vertikal tidak mungkin. Pada tumpuan rol ini terdapat roda yang dapat bergeser untuk mengakomodasi pemuaian pada konstruksi agar tidak rusak. Tumpuan rol tidak dapat menahan momen atau disebut tumpuan sederhana. Tumpuan rol dapat diilustrasikan seperti gambar 2.6.



Gambar 2.6 Tumpuan Rol

(Sumber: Setiawan, 2016)

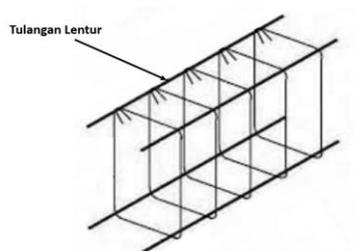
2.8 Mekanika Rekayasa

Mekanika rekayasa atau biasa disebut mekanika teknik merupakan analisa struktur yang mempelajari perilaku struktur terhadap beban yang bekerja padanya. Perilaku struktur tersebut umumnya adalah gaya-gaya reaksi yang bekerja didalamnya. Gaya dalam yang dimaksud adalah gaya yang muncul pada struktur akibat adanya gaya luar yang bekerja (Dewi dkk., 2019). Terdapat 4 gaya dalam yang bereaksi pada struktur, yaitu:

1. Momen Lentur
2. Gaya Geser (*Shear Force*)
3. Gaya Normal / Aksial
4. Momen Torsi

2.8.1 Momen Lentur

Momen lentur adalah sebuah besaran gaya yang bekerja pada struktur tersebut dan mengakibatkan struktur tersebut berotasi terhadap porosnya (Nurlita & Pradana, 2019). Momen dapat dihitung dengan cara besar gaya dikali dengan jarak tegak lurus terhadap garis gaya. Momen lentur berfungsi untuk menentukan letak tulangan lentur seperti gambar 2.7.



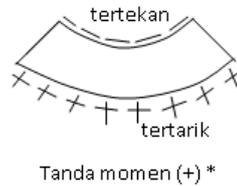
Gambar 2.7 Tulangan Lentur

(Sumber: ilmutekniksipil.com)

Momen lentur terbagi menjadi 2 jenis, yaitu

1. Momen Lentur Positif

Momen lentur positif adalah momen yang mengakibatkan serat atas struktur tertekan dan serat bawah struktur tertarik. Dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Momen Lentur Positif

(Sumber: ilmutekniksipil.com)

2. Momen Lentur Negatif

Momen lentur negatif adalah momen yang mengakibatkan serat atas struktur tertarik dan serat bawah struktur tertekan. Dapat dilihat pada gambar 2.9.

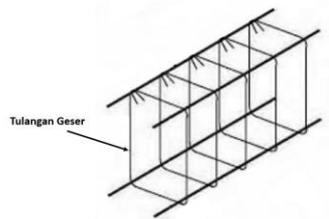


Gambar 2.9 Momen Lentur Negatif

(Sumber: ilmutekniksipil.com)

2.8.2 Gaya Geser (*Shear Force*)

Gaya geser adalah gaya yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu utama struktur atau gaya vertikal. Gaya geser diperhitungkan untuk menentukan banyaknya dan jarak antara tulangan geser. Tulangan geser dapat dilihat pada gambar 2.10.



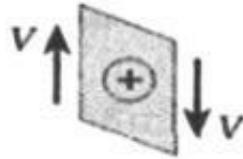
Gambar 2.10 Tulangan Geser

(Sumber: ilmutekniksipil.com)

Gaya geser terbagi menjadi 2 jenis, yaitu:

1. Gaya geser positif

Gaya geser positif adalah gaya geser yang sebelah kiri bergerak ke atas relatif terhadap kanan. Dapat dilihat pada gambar 2.11.

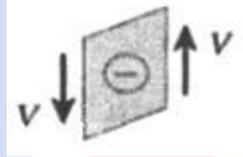


Gambar 2.11 Gaya Geser Positif

(Sumber: ilmutekniksipil.com)

2. Gaya geser negatif.

Gaya geser negatif adalah gaya geser yang sebelah kanan bergerak ke atas relatif terhadap kiri. Dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Gaya Geser Negatif

(Sumber: ilmutekniksipil.com)

Tulangan geser yang terkena reaksi positif dan negatif akan disusun dengan jarak yang lebih rapat sesuai kebutuhan.

2.8.3 Gaya Normal / Aksial

Gaya normal adalah gaya yang bekerja sejajar dengan sumbu utama struktur atau searah garis horizontal. Gaya normal dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Gaya normal positif

Gaya normal positif adalah gaya normal yang menandakan bahwa struktur tersebut tertarik. Seperti contoh gambar 2.13.



Gambar 2.13 Gaya Normal Positif

(Sumber: ilmutekniksipil.com)

2. Gaya normal negatif

Gaya normal negatif adalah gaya normal yang menandakan bahwa struktur tersebut tertekan. Seperti contoh gambar 2.14.



Gambar 2.14 Gaya Normal Negatif

(Sumber: ilmutekniksipil.com)

2.8.4 Momen Torsi

Momen torsi merupakan momen yang bekerja terhadap sumbu memanjang (longitudinal) pada balok atau elemen struktur. Momen torsi dapat terjadi karena adanya beban eksentrisitas terhadap sumbu longitudinal elemen struktur. Momen torsi pada penampang elemen struktur dapat menimbulkan tegangan geser yang dapat menimbulkan keretakan pada penampang beton yang tidak ditulangi secara khusus (Aziz & Ardila, 2017).

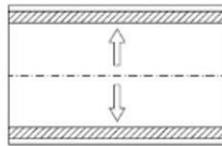
2.9 Desain Elemen Struktur

2.9.1 Pelat

Pelat merupakan lantai yang tidak terletak langsung diatas permukaan tanah, melainkan lantai yang menjadi pembatas antara tingkat satu dengan tingkat lainnya. Pelat lantai didukung oleh balok beton dan ditopang oleh kolom bangunan (Nurjaman, 2019). Lain halnya dengan pelat yang berada dilantai dasar yang menyentuh langsung dengan permukaan tanah. Pelat lantai memikul beban mati dan beban hidup dan kemudian disalurkan ke komponen struktur balok. Sistem perencanaan tulangan pelat beton pada dasarnya dibagi menjadi 2 jenis, yaitu;

- a. Sistem perencanaan pelat dengan tulangan pokok satu arah (pelat satu arah atau *one way slab*)

Pelat satu arah merupakan pelat yang didukung pada kedua sisinya, sehingga lenturan terjadi dalam satu arah. Dapat dilihat pada gambar 2.15 dibawah ini.

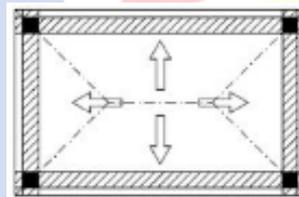


Gambar 2.15 Pelat Satu Arah

(Sumber: ilmutekniksipil.com)

- b. Sistem perencanaan pelat dengan tulangan pokok dua arah (pelat dua arah atau *two way slab*)

Pelat dua arah merupakan pelat yang didukung pada keempat sisinya, sehingga lenturan terjadi dalam dua arah. Dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Pelat Dua Arah

(Sumber: ilmutekniksipil.com)

Apabila perbandingan dari antara bentang panjang terhadap bentang pendek lebih dari dua, maka disebut pelat satu arah (*one way slab*). Sebaliknya jika perbandingan dari antara bentang panjang terhadap bentang pendek kurang dari dua, maka disebut pelat dua arah (*two way slab*). Ketebalan pelat lantai dapat disesuaikan dengan beberapa hal, seperti perhitungan total beban yang akan ditumpu, jarak antar balok penumpu, dan bahan yang digunakan. Berikut merupakan syarat-syarat untuk menentukan tebal minimum pelat lantai satu arah dan dua arah (SNI 2847-2019 pasal 7):

1. Tebal minimum pelat satu arah:

Untuk menentukan tebal minimum pelat ditentukan berdasarkan kondisi tumpuan pelat tersebut. Dapat dilihat pada tabel 2.13.

Tabel 2.13 Tebal minimum pelat satu arah

Kondisi Tumpuan	Minimum (h)
Tumpuan sederhana	$l/20$
Satu ujung menerus	$l/24$
Kedua ujung menerus	$l/28$
Kantilever	$l/10$

(Sumber: SNI 2847-2019)

Keterangan:

l : Panjang bentang

2. Tebal minimum pelat dua arah:

$$a. h_{\min} \geq \frac{Ln(0.8 + \frac{Fy}{1500})}{(36 + 9\beta)} \dots\dots\dots(2-13)$$

$$b. h_{\min} \geq \frac{Ln(0.8 + \frac{Fy}{1500})}{36 + 5\beta\{\alpha - 0.12[1 + \frac{1}{\beta}]\}} \dots\dots\dots(2-14)$$

$$c. h_{\max} \leq \frac{Ln(0.8 + \frac{Fy}{1500})}{36} \dots\dots\dots(2-15)$$

Keterangan:

Ln : Panjang bentang bersih pelat setelah dikurangi tebal balok (cm)

Fy : Tegangan leleh baja untuk pelat

h : Tebal pelat

α : Koefisien jepit pelat

n : Jumlah tepi pelat

β : $\frac{Ln \text{ memanjang}}{Ln \text{ melintang}}$

2.9.2 Tangga

Tangga adalah suatu bagian dari struktur konstruksi yang berfungsi sebagai penghubung antara lantai yang satu dengan lantai lainnya yang mempunyai ketinggian yang berbeda. Tangga terdiri dari pelat tangga dan anak tangga. Pelat tangga merupakan bagian dari konstruksi tangga sebagai bagian pokok yang berfungsi untuk mendukung anak tangga (Kholiq dkk, 2015). Anak tangga dibagi menjadi dua bagian, yaitu:

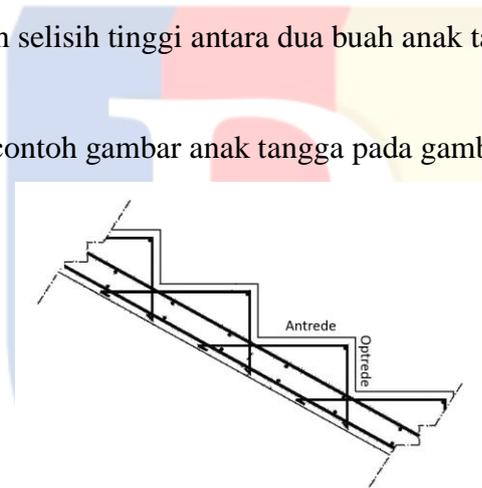
1. Antrede

Antrede adalah anak tangga dan pelat tangga yang berbidang horizontal yang berfungsi sebagai bidang pijak telapak kaki.

2. Optrede

Optrede adalah selisih tinggi antara dua buah anak tangga yang berurut.

Berikut dapat dilihat contoh gambar anak tangga pada gambar 2.17 dibawah ini.



Gambar 2.17 Anak Tangga

(Sumber: tekniksipil.com)

Syarat-syarat umum tangga (Kholiq dkk., 2015):

1. Tangga harus mudah dijalani atau dinaiki
2. Tangga harus cukup kuat dan kaku
3. Ukuran tangga harus sesuai dengan sifat dan fungsinya
4. Material yang digunakan untuk membuat pembuatan tangga terutama pada gedung-gedung umum harus tahan dan bebas dari bahaya kebakaran
5. Letak tangga harus cukup strategis
6. Sudut kemiringan tidak lebih dari 45°
7. Syarat kemiringan $25^\circ < x < 45^\circ$

8. Syarat tinggi optrede 15 cm – 20 cm
9. Syarat lebar antrede 26 cm – 35 cm

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada perencanaan tangga:

1. Perencanaan tangga, antara lain:
 - a. Penentuan ukuran antrede dan optrede
 - b. Penentuan jumlah antrede dan optrede
 - c. Panjang tangga = jumlah optrede \times lebar antrede
 - d. Sudut kemiringan tangga = $\text{Arc tg}(\text{tinggi optrede} / \text{lebar antrede})$
 - e. Penentuan tebal pelat
2. Perhitungan tangga menggunakan metode *Cross* untuk mencari gaya-gaya dalam yang bekerja
3. Perhitungan tulangan tangga:
 - a. Penentuan momen yang bekerja
 - b. Penentuan tulangan yang diperlukan
 - c. Kontrol tulangan
 - d. Penentuan jarak (spasi) tulangan
 - e. Perencanaan tulangan geser

2.9.3 Balok

Balok merupakan salah satu bagian dari struktur yang berfungsi menopang pelat lantai di atasnya. Balok juga berfungsi sebagai penyalur beban dan gaya reaksi menuju kolom-kolom. Balok dikenal sebagai elemen struktur yang dominan memikul gaya berupa momen lentur dan geser. Umumnya balok dibagi menjadi dua bagian, yaitu balok induk dan balok anak. Balok induk berfungsi untuk menghubungkan beban ke kolom. Sedangkan balok anak berfungsi sebagai membagi pelat lantai menjadi bagian yang lebih kecil. Karena balok induk bertumpu pada kolom, maka ukuran lebar balok induk tidak lebih lebar dari ukuran kolom (Nurjaman, 2019). Untuk merancang balok yang kuat maka di tabel 2.13 perlu didesain dengan dimensi balok yang sesuai dengan beban yang bekerja. Dimensi balok harus dapat memikul momen maksimum yang terjadi dan memenuhi syarat kekakuan serta kekuatan. Berikut adalah cara untuk menentukan dimensi balok berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 9.3.1.1:

1. Tinggi minimum balok

Tinggi minimum balok ditentukan berdasarkan kondisi perletakan balok. Dapat dilihat pada tabel 2.14.

Tabel 2.14 Tinggi minimum balok

Kondisi Perletakan	Minimum (h)
Perletakan sederhana	$l/16$
Menerus satu sisi	$l/18.5$
Menerus dua sisi	$l/21$
Kantilever	$l/8$

(Sumber: SNI 2847-2019)

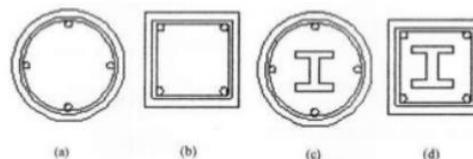
2. Lebar minimum balok

Lebar minimum balok ditentukan dengan rumus $2/3$ kali tinggi balok ($2/3 h$).

2.9.4 Kolom

Kolom merupakan batang tekan vertikal dari suatu rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom berfungsi sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi (Nurjaman, 2019). Beban bangunan dimulai dari beban atap dan akan diteruskan ke kolom. Berdasarkan bentuk dan susunan tulangan, kolom dibedakan menjadi 3 bagian, yaitu;

1. Kolom segi empat dengan tulangan memanjang dan sengkang
2. Kolom bulat dengan tulangan memanjang dan tulangan lateral berbentuk spiral
3. Kolom komposit yang terdiri dari beton dan baja profil didalamnya.



Gambar 2.18 Bentuk Kolom (a) kolom bulat tulangan spiral; (b) kolom segiempat, (c) kolom komposit bulat tulangan spiral, (d) kolom komposit segiempat.

(Sumber: ilmutekniksipil.com)

Untuk perencanaan gedung ini menggunakan kolom persegi dengan tulangan memanjang dan tulangan Sengkang. Berikut adalah syarat untuk menentukan dimensi kolom berdasarkan SNI 2847-2019, yaitu:

$$\frac{W_u}{A} \leq 0.2f_c' \dots\dots\dots(2-16)$$

$$A \geq \frac{W_u}{0.2f_c'} \dots\dots\dots(2-17)$$

Keterangan:

W_u = Beban *ultimate* yang dipikul kolom

A = Luas kolom yang dibutuhkan

f_c' = Mutu beton

2.9.5 Hubungan Balok Kolom

Hubungan balok kolom (HBK) merupakan titik pertemuan antara kolom dan balok pada struktur. Daerah hubungan balok kolom merupakan daerah kritis pada suatu struktur rangka beton bertulang, yang harus desain secara khusus untuk berdeformasi pada saat terjadi gempa (Budianto dkk, 2017). Beberapa persyaratan hubungan balok kolom dapat dilihat sebagai berikut:

1. SNI 2847-2019; Pasal 18.8.2.1
Gaya-gaya yang ada pada tulangan utama balok di HBK harus diperhitungkan dengan asumsi tegangan pada tulangan tarik lentur sebesar $1,25f_y$.
2. SNI 2847-2019; Pasal 18.8.3.1
Pada daerah HBK harus disediakan tulangan sengkang berbentuk tertutup (seperti pada lokasi sendi plastis kolom).
3. SNI 2847-2019; Pasal 18.8.3.2
Pada suatu HBK yang memiliki balok dengan lebar sekurangnya $\frac{3}{4}$ lebar kolom dan merangka pada keempat sisi kolom tersebut, maka dapat dipasang tulangan sengkang setidaknya sejumlah $\frac{1}{2}$ dari kebutuhan di daerah sendi plastis kolom. Tulangan sengkang ini dipasang di daerah HBK pada setinggi balok yang merangka ke HBK. Pada daerah ini, jarak tulangan transversal boleh diperbesar menjadi 150 mm.

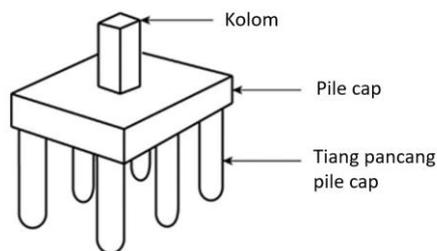
4. SNI 2847-2019; Pasal 18.8.4.1

Kuat geser nominal HBK untuk beton normal diambil tidak melebihi dari:

- a. $1,7\lambda\sqrt{f_c'}A_j$, untuk HBK yang terkekang keempat sisinya oleh balok.
- b. $1,2\lambda\sqrt{f_c'}A_j$, untuk HBK yang terkekang ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan.
- c. $1,0\lambda\sqrt{f_c'}A_j$, untuk HBK yang lainnya
- d. Dengan A_j adalah merupakan luas efektif dari HBK.

2.9.6 Pondasi

Pondasi adalah salah satu bagian konstruksi yang berada dibagian paling bawah struktur. Pondasi mempunyai peran penting terhadap sebuah bangunan, yaitu pondasi harus memikul seluruh beban-beban yang bekerja pada struktur dari struktur paling atas hingga struktur diatas permukaan tanah. Pada perencanaan gedung kantor 5 lantai ini menggunakan pondasi tiang pancang. Pondasi tiang pancang merupakan suatu cara untuk mengikat pondasi sebelum didirikan kolom diatasnya. Pondasi tiang pacang adalah bagian dari struktur yang digunakan untuk menerima dan menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah penunjang yang terletak pada kedalaman tertentu. Struktur yang menggunakan pondasi tiang pancang umumnya dipakai oleh struktur bertingkat tinggi atau tanah dasar yang tidak mempunyai kapasitas daya pikul yang memadai (Lesmana, dkk., 2016). Pada gambar 2.19 dibawah ini merupakan contoh gambar pondasi tiang pancang.



Gambar 2.19 Pondasi Tiang Pancang

(Sumber: ilmutekniksipil.com)

Untuk menentukan berapa jumlah tiang yang dipakai pada pondasi, tahap pertama harus mengetahui total gaya beban vertikal yang diterima pondasi, kemudian

menghitung daya dukung tiang pancang yang akan dipakai melalui rumus berikut ini:

$$\sigma_b = 0,33 \times f_c \dots \dots \dots (2-18)$$

$$P_{tiang} = \sigma_b \times A_{tiang} \dots \dots \dots (2-19)$$

Keterangan:

σ_b = tegangan tekan beton yang diijinkan

P_{tiang} = daya dukung 1 tiang pancang

Setelah mengetahui daya dukung tiang pancang, maka dapat menentukan jumlah tiang yang akan digunakan pada pondasi tersebut melalui rumus berikut ini;

$$n = \frac{P}{P_{tiang}} \dots \dots \dots (2-20)$$

Keterangan:

P = total gaya beban vertikal yang diterima pondasi

P_{tiang} = daya dukung 1 tiang pancang

2.10 Penulangan Elemen Struktur

Baja tulangan adalah baja yang berpenampang lingkaran yang digunakan untuk penulangan struktur beton, yang berfungsi untuk menambah kekuatan tarik pada beton. Beton memerlukan tulangan baja dikarenakan baja memiliki kekuatan tarik yang tinggi sedangkan beton memiliki kekuatan tarik yang relatif rendah.

2.10.1 Penulangan Pelat Dua Arah

Tulangan pelat berfungsi untuk menahan gaya tekan dan gaya tarik yang terjadi pada pelat. Karena momen lentur bekerja pada dua arah, yaitu searah dengan bentang (L_x) dan bentang (L_y), maka tulangan pokok juga dipasang dua arah yang saling tegak lurus atau bersilangan.

Syarat-syarat penulangan pelat (SNI 2847-2019):

1. Tebal penutup beton: tidak langsung berhubungan dengan tanah/cuaca = 20 mm, langsung berhubungan dengan tanah/cuaca = 40 mm
2. Jarak minimum tulangan utama 25 mm

3. Jarak maksimum tulangan utama 250 mm
4. Diameter tulangan polos $\emptyset p \geq 8$ mm
5. Diameter tulangan deform $\emptyset d \geq 6$ mm

Langkah-langkah mendesain tulangan pelat dua arah:

1. Menghitung beban ultimit pelat:

$$W_u = 1.2q_D + 1.6q_L \dots \dots \dots (2-21)$$

$$M_u(L_x) = 0.001 \cdot W_u \cdot (L_x)^2 \cdot \text{koefisien momen} \dots \dots \dots (2-22)$$

$$M_u(L_y) = 0.001 \cdot W_u \cdot (L_x)^2 \cdot \text{koefisien momen} \dots \dots \dots (2-23)$$

$$M_n L_x = \frac{M_u L_x}{\phi} \dots \dots \dots (2-24)$$

2. Menghitung kebutuhan tulangan utama:

Memilih tulangan yang akan digunakan (D).

$$\text{Panjang efektif (d)} = h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \times \emptyset \dots \dots \dots (2-25)$$

$$R_n = \frac{M_n L_x}{b \cdot d^2} \dots \dots \dots (2-26)$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f_{c'}} \dots \dots \dots (2-27)$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \dots \dots \dots (2-28)$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

$$\rho_{min} = \frac{0.0018 \times 420}{f_y} \dots \dots \dots (2-29)$$

Atau

$$\rho_{min} = 0.0014$$

Mengecek *tension control* / kontrol tarik dari tulangan tarik:

a) Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$a = \frac{A_s \text{ aktual} \times f_y}{0.85 \times f_{c'} \times b} \dots \dots \dots (2-30)$$

b) Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$c = \frac{a}{\beta_1} \dots\dots\dots(2-31)$$

c) Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ϵ_t .

$$\epsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \dots\dots\dots(2-32)$$

Bila:

$\epsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Menghitung luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$A_s = \rho_{min} \times b \times d \dots\dots\dots(2-33)$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari 3h atau 450 mm.

$$S = 3 \times h \dots\dots\dots(2-34)$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \dots\dots\dots(2-35)$$

3. Menghitung kebutuhan tulangan susut:

$$\rho_{min} = 0.0018 \dots\dots\dots(2-36)$$

$$A_s = \rho_{min} \cdot b \cdot h \dots\dots\dots(2-37)$$

$$S = \frac{1000 \times A_b}{A_s} \text{ (Cek spasi minimum) } \dots\dots\dots(2-38)$$

4. Memeriksa kuat momen rencana sesuai tulangan yang terpasang:

$$a = \frac{A_s \cdot F_y}{0.85 \times F'_c \times b} \dots\dots\dots(2-39)$$

$$\phi Mn = \phi \cdot A_s \cdot F_y \cdot (d - \frac{a}{2}) \dots\dots\dots(2-40)$$

Keterangan:

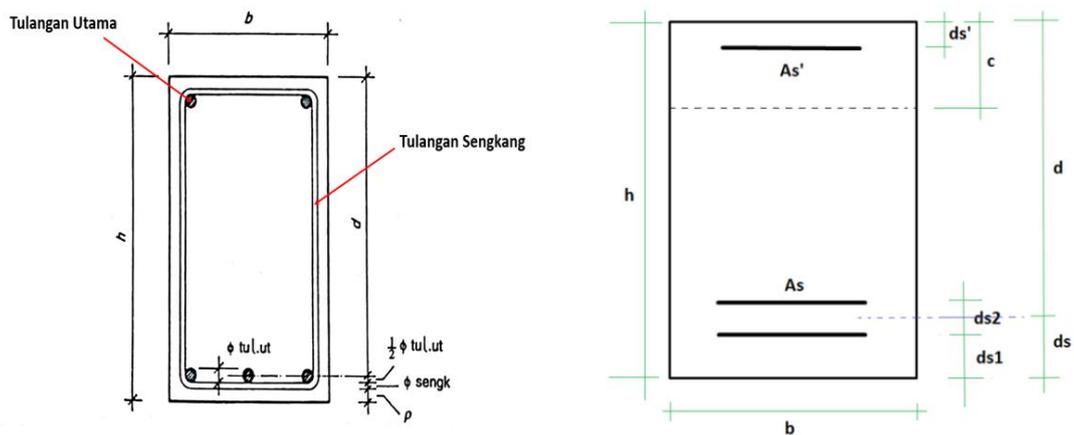
Wu = total seluruh beban

Mu(Lx) = momen *ultimate* arah Lx

$M_u(L_y)$	= momen <i>ultimate</i> arah L_y
R_u	= kuat perlu
ρ	= rasio tulangan
A_s	= luas penampang yang dibutuhkan
S	= jarak spasi antar tulangan
a	= tinggi <i>stress block</i>
ϕM_n	= kuat momen rencana

2.10.2 Penulangan Balok

Pada suatu balok beton bertulang, terdapat beberapa jenis tulangan yang ada dalam balok beserta fungsinya masing-masing, diantaranya adalah tulangan utama/lentur yang berfungsi untuk menahan gaya momen, dan tulangan sengkang/geser yang berfungsi untuk menahan gaya geser. Untuk mendesain sebuah tulangan pada balok, perlu adanya perhitungan dan persyaratan yang harus diikuti. Dibawah ini merupakan persyaratan dalam mendesain sebuah balok dan juga contoh gambar 2.20 tulangan balok beserta keterangannya.



Gambar 2.20 Gambar Contoh Tulangan Balok dan Notasi Balok

(Sumber: Buku Perancangan Struktur Beton Bertulang, 2013)

Keterangan:

A_s	= luas tulangan tarik
A_s'	= luas tulangan tekan

c	= jarak antara garis netral dan tepi serat beton tertekan
h	= tinggi penampang balok
b	= lebar penampang balok
d	= tinggi efektif (jarak dari serat tekan ke titik berat tulangan tarik)
ds1	= jarak antara titik berat tulangan tarik baris pertama dan tepi serat beton tarik
ds2	= jarak antara titik berat tulangan tarik baris kedua dengan tulangan tarik baris pertama
ρ	= tebal penutup beton untuk menutup tulangan terluar
\emptyset tul. ut	= diameter tulangan utama
\emptyset sengk	= diameter tulangan sengkang

Syarat-syarat penulangan balok (SNI 2847-2019):

1. Jarak minimum tulangan utama pada arah vertikal 25 mm;
2. Jarak minimum tulangan utama pada arah mendatar 25 mm;
3. Jarak maksimum tulangan samping 300 mm;
4. Lebar penampang (b_w), harus sekurangnya nilai terkecil dari $0,3h$;
5. Rasio tulangan tidak boleh melebihi 0,025 untuk tulangan atas maupun bawah;
6. Nilai gaya geser desain (V_e) tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan analisis struktur.

Langkah-langkah mendesain tulangan balok:

1. Mendesain tulangan terhadap lentur:

Mengecek persyaratan Mu:

Nilai Mu tulangan tumpuan positif tidak boleh lebih kecil dari setengah

Mu tulangan tumpuan negatif.

Jika:

- d) Mu Tumpuan Positif $> \frac{1}{2}$ Mu Tumpuan Negatif, maka digunakan Mu Tumpuan Positif
- e) Mu Tumpuan Positif $< \frac{1}{2}$ Mu Tumpuan Negatif, maka digunakan $\frac{1}{2}$ Mu Tumpuan Negatif

Menghitung nilai Mn

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \dots \dots \dots (2-41)$$

Menghitung nilai d

$$d = h - \left(\frac{\phi}{2}\right) - \text{tebal selimut beton} - \text{diameter sengkang} \dots \dots (2-42)$$

2. Menghitung rasio minimum:

Nilai rasio minimum diambil nilai terbesar dari dua persamaan berikut:

$$\rho_{min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} \dots \dots \dots (2-43)$$

atau

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots \dots \dots (2-44)$$

3. Menghitung nilai R_n dan m:

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} \dots \dots \dots (2-45)$$

Nilai parameter (m):

$$m = \frac{f_y}{0,85.f_c'} \dots \dots \dots (2-46)$$

4. Menghitung rasio tulangan:

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \dots \dots \dots (2-47)$$

Memilih nilai ρ yang terbesar antara ρ dan ρ_{min}

5. Hitung nilai luas tulangan tarik yang dibutuhkan.

Tulangan tarik:

$$A_s = \rho bd \dots \dots \dots (2-48)$$

6. Memilih diameter tulangan yang akan dipakai

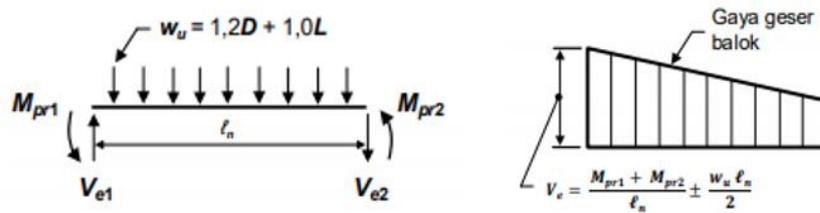
7. Hitung jumlah tulangan dan nilai luasan tulangan yang terpasang:

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} \dots \dots \dots (2-49)$$

$$A_s \text{ terpasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times n \dots \dots \dots (2-50)$$

8. Menghitung besar gaya geser desain (V_e) yang diperlukan:

Gaya geser desain (V_e) dihitung berdasarkan tinjauan gaya-gaya yang ada pada bagian balok di antara kedua muka *joint*. Untuk mendapat nilai V_e , harus menentukan nilai momen (M_{pr}) diantara kedua *joint* balok tersebut, dan berat total (W_u) yang terjadi pada balok tersebut. Momen-momen ujung M_{pr} ditentukan dengan tegangan tarik baja sebesar ($1,25F_y$). Untuk penjelasan lebih detail dapat dilihat pada gambar 2.21.



Gambar 2.21 Penjelasan Perhitungan Gaya Geser Desain Balok

(Sumber: SNI 2847-2019; Pasal 18.6.5)

Dengan rumus:

$$M_{pr} = A_s(1,25f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots \dots \dots (2-51)$$

$$a = \frac{A_s \cdot 1,25F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \dots \dots \dots (2-52)$$

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{ln} \pm \frac{W_u \times ln}{2} \dots \dots \dots (2-53)$$

Arah gaya geser V_e tergantung pada besaran beban gravitasi dan geser yang dihasilkan oleh momen-momen ujung.

9. Menghitung tulangan geser:

$$A_{V_{pers}} = \frac{V_e}{F_y \times d} \dots \dots \dots (2-54)$$

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \pi \times (10\text{mm}^2) \dots \dots \dots (2-55)$$

10. Menentukan spasi tulangan sengkang:

Spasi tulangan sengkang tidak boleh melebihi nilai terkecil seperti ketentuan berikut dibawah ini:

- a) $d/4$
- b) $6 d_b$
- c) 150 mm

Keterangan:

R_u	= kuat rencana
ρ	= rasio tulangan
A_s	= luas penampang yang dibutuhkan
A_b	= luas tulangan yang dipakai
V_e	= gaya geser desain
M_{pr}	= momen pada ujung balok
$A_{V_{pers}}$	= luas minimum tulangan geser dalam spasi
A_v	= luas minimum tulangan geser dalam spasi

2.10.3 Penulangan Kolom

Pada tulangan kolom terdapat tulangan utama/memanjang dan tulangan sengkang. Tulangan utama/memanjang berfungsi sebagai penahan beban tekanan untuk menjaga kolom agar tidak memendek ketika menerima beban tekan. Sementara tulangan sengkang berfungsi sebagai pengikat tulangan utama agar tidak lepas dari beton, dan juga berfungsi untuk menjaga kolom agar tidak mengembang ke arah horizontal (Oktarina, 2019). Dibawah ini adalah beberapa syarat yang harus dipenuhi berdasarkan SNI 2847-2019.

Syarat-syarat penulangan kolom (SNI 2847-2019):

1. Batasan untuk faktor reduksi kekuatan, yaitu sebesar 0.65 untuk sengkang persegi dan 0.75 untuk sengkang spiral;
2. Minimum jarak antar tulangan utama sebesar $1,5d_b$ atau 40 mm;
3. Maksimum jarak antar tulangan utama 350 mm;

4. Kait pengikat harus diatur sehingga sudut-sudutnya tidak dibengkokan dengan sudut lebih besar dari 135° ;
5. Spasi tulangan sengkang tidak boleh melebihi nilai $d/4$, $6d_b$, dan 150 mm;
6. Nilai gaya geser desain (V_e) tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan analisis struktur.

Langkah-langkah mendesain tulangan kolom:

1. Menghitung tulangan utama yang dibutuhkan kolom:

Berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 18.7.4.1, syarat luas tulangan longitudinal A_{st} tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih dari $0,06A_g$. maka:

$$\rho = 0,01 \leq \rho \leq 0,06$$

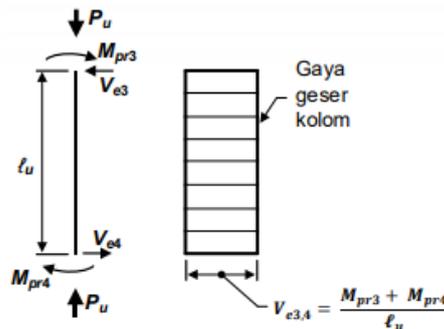
$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \times A_g \dots \dots \dots (2-56)$$

$$A_{s \text{ terpasang}} = \frac{1}{4} \pi D^2 \times n \dots \dots \dots (2-57)$$

$$\text{Kontrol } A_s = A_{s \text{ terpasang}} > A_{s \text{ perlu}}$$

2. Menghitung tulangan sengkang yang dibutuhkan:

Gaya geser desain (V_e) dihitung berdasarkan peninjauan gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi pada setiap ujung kolom. Gaya geser desain ini harus ditentukan menggunakan kekuatan lentur maksimum (M_{pr}) yang mungkin terjadi disetiap ujung kolom dengan rentang beban aksial terfaktor (P_u) yang bekerja pada kolom. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.22.



Gambar 2.22 Penjelasan Perhitungan Gaya Geser Desain Kolom

(Sumber: SNI 2847-2019; Pasal 18.6.5)

Dengan rumus:

$$M_{pr} = A_s(1,25f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots(2-58)$$

$$a = \frac{A_s \cdot 1,25F_y}{0,85 \times F'_{rc} \times b} \dots\dots\dots(2-59)$$

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_u} \dots\dots\dots(2-60)$$

3. Menentukan spasi antar tulangan sengkang:

Spasi tulangan sengkang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:

- a) Seperempat dimensi terkecil penampang kolom;
- b) $6d_b$;
- c) S_o , yang dihitung dengan $S_o = 100 + \left(\frac{350-h_x}{3} \right) \dots\dots\dots(2-61)$

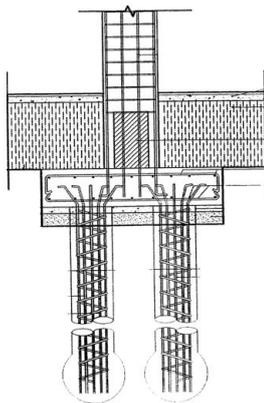
Nilai S_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm.

Keterangan:

- nb = jumlah tulangan yang akan dipakai
- A_s = luas penampang
- A_b = luas tulangan
- bw = lebar badan penampang
- d = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal

2.10.4 Penulangan Pondasi Tiang Pancang

Pada pondasi tulangan tiang pancang terdapat beberapa jumlah tiang pancang yang akan dipasang berdasarkan perhitungan jumlah tiang pancang yang akan dipasang. Bentuk penampang dari tiang pancang dapat ditentukan dengan berbagai macam seperti persegi atau lingkaran. Berikut contoh gambar tulangan pondasi tiang pancang pada gambar 2.23.



Gambar 2.23 Gambar Contoh Tulangan Pondasi Tiang Pancang

(Sumber: ilmutekniksipil.com)

Syarat-syarat penulangan pondasi tiang pancang (SNI 2847-2019):

1. Ketebalan total pile cap harus sedemikian rupa sehingga tinggi efektif tulangan bawah tidak kurang dari 300 mm.
2. $\phi V_n \geq V_u$

Adapun Langkah-langkah dalam mendesain tulangan pondasi:

1. Menentukan beban-beban yang bekerja pada pondasi
2. Menentukan diameter tiang yang digunakan
3. Menentukan jarak tiang yang digunakan

$$2D < s < 3,5D$$

4. Menentukan efisiensi kelompok tiang

$$Eg = 1 - \frac{\theta}{90} \left\{ \frac{(n-1)m + (m-1)n'}{m.n} \right\} \dots \dots \dots (2-62)$$

5. Menentukan daya dukung ijin 1 tiang pancang

$$Q_{tiang} = \frac{A_{tiang} \cdot P}{3} + \frac{Q \cdot c}{5} \dots \dots \dots (2-63)$$

6. Menentukan kemampuan tiang terhadap suhu X dan sumbu Y

$$P_{x,y} = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{M_{y,x}}{n y \cdot \sum x^2} \pm \frac{M_{x,y}}{n y \cdot \sum y^2} \dots \dots \dots (2-64)$$

Keterangan:

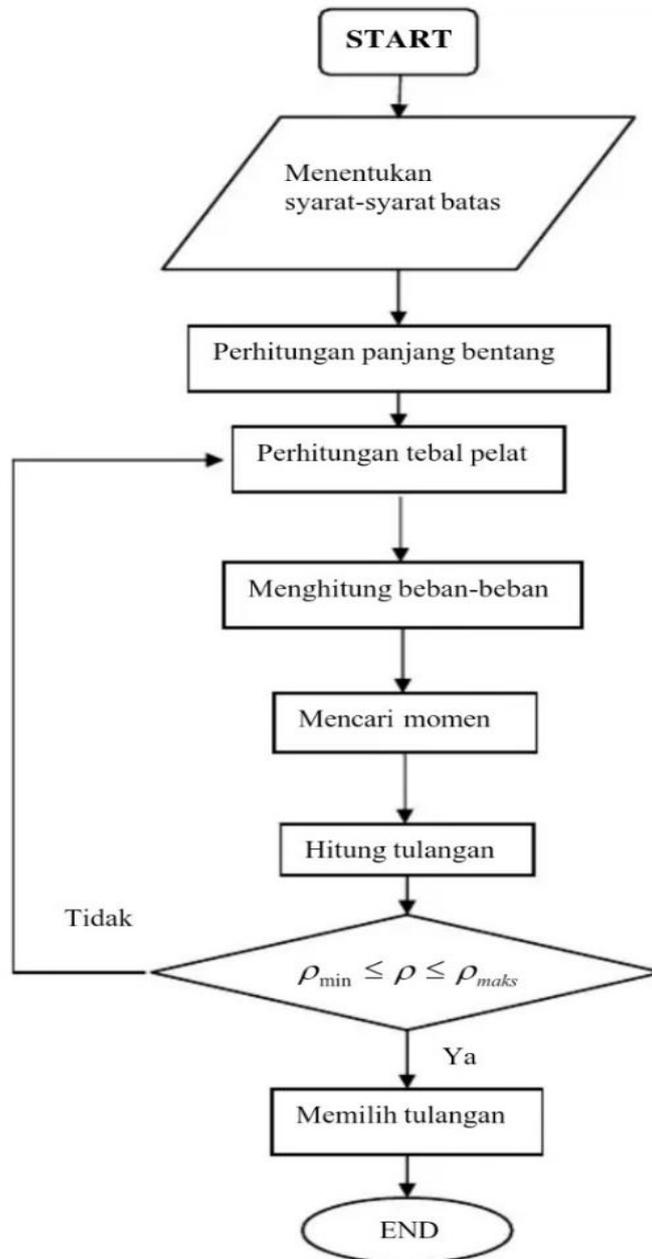
- Eg = efisiensi kelompok tiang
 m = jumlah baris tiang
 n' = jumlah tiang dalam satu baris

θ	= arc tg d/s, dalam derajat
s	= jarak antar tiang
P_x	= beban yang dihitung tiang pada jarak x dari pusat pondasi (kg)
M_x	= momen pada kolom (kg.m)
V	= beban kolom
n	= jumlah tiang
x	= jarak tiang yang ditinjau dari pusat pondasi (m)
D	= diameter tiang

2.11 *Flowchart* Desain Elemen Struktur

Pada perencanaan elemen struktur yang terdiri dari perencanaan pelat, balok, kolom, dan pondasi diawali dengan menentukan syarat-syarat batas. Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan dimensi elemen struktur yang akan dipakai. Jika dimensi sudah ditentukan, lanjut dengan menghitung pembebanan elemen struktur dan mencari momen gaya dalam pada elemen struktur tersebut. Jika gaya-gaya dalam yang bekerja pada elemen struktur sudah dihitung dan dianalisis, maka sudah dapat mencari tulangan yang dibutuhkan pada elemen struktur tersebut. Sebelum menentukan tulangan yang akan dipakai, harus mengecek rasio tulangan terlebih dahulu. Jika sudah mencukupi syarat rasio tulangan maka dapat memilih tulangan elemen struktur. Jika belum mencukupi syarat maka harus mengulangi menentukan dimensi elemen struktur hingga syarat rasio tulangan dapat dipenuhi. Tahap-tahap desain elemen struktur dapat dilihat dibawah ini pada gambar 2.24 sampai 2.27 tentang *flowchart* desain elemen struktur.

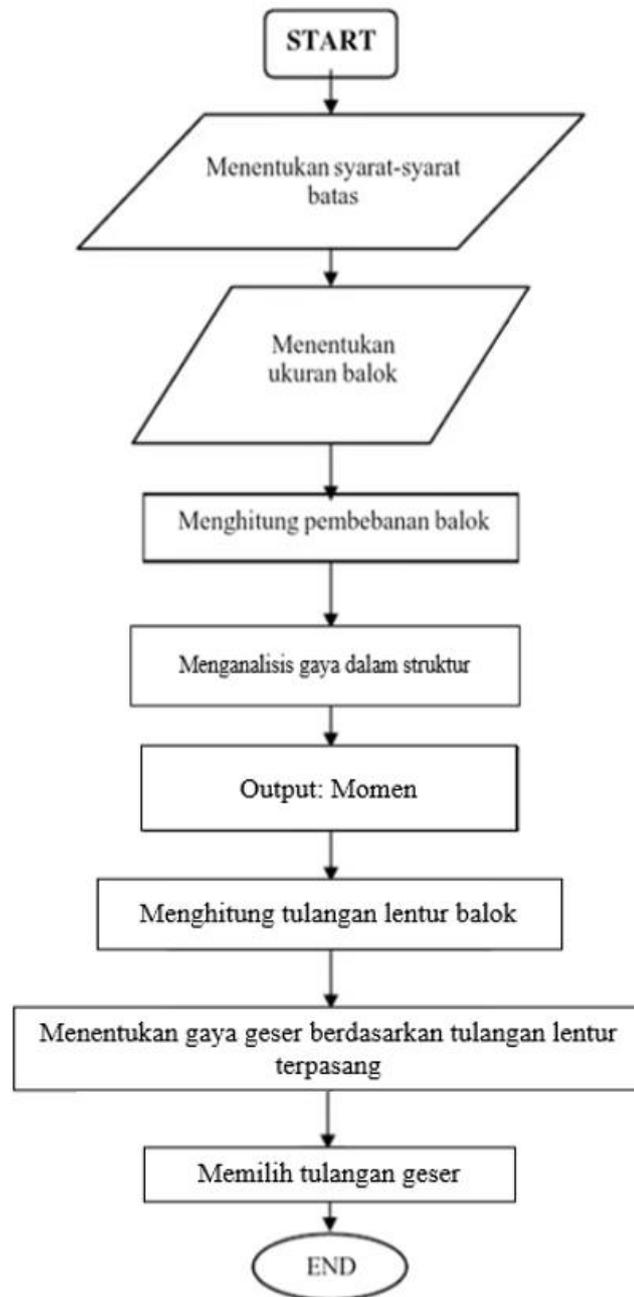
2.11.1 Flowchart Desain Pelat



Gambar 2.24 Flowchart Desain Pelat

(Sumber: Dokumen Pribadi)

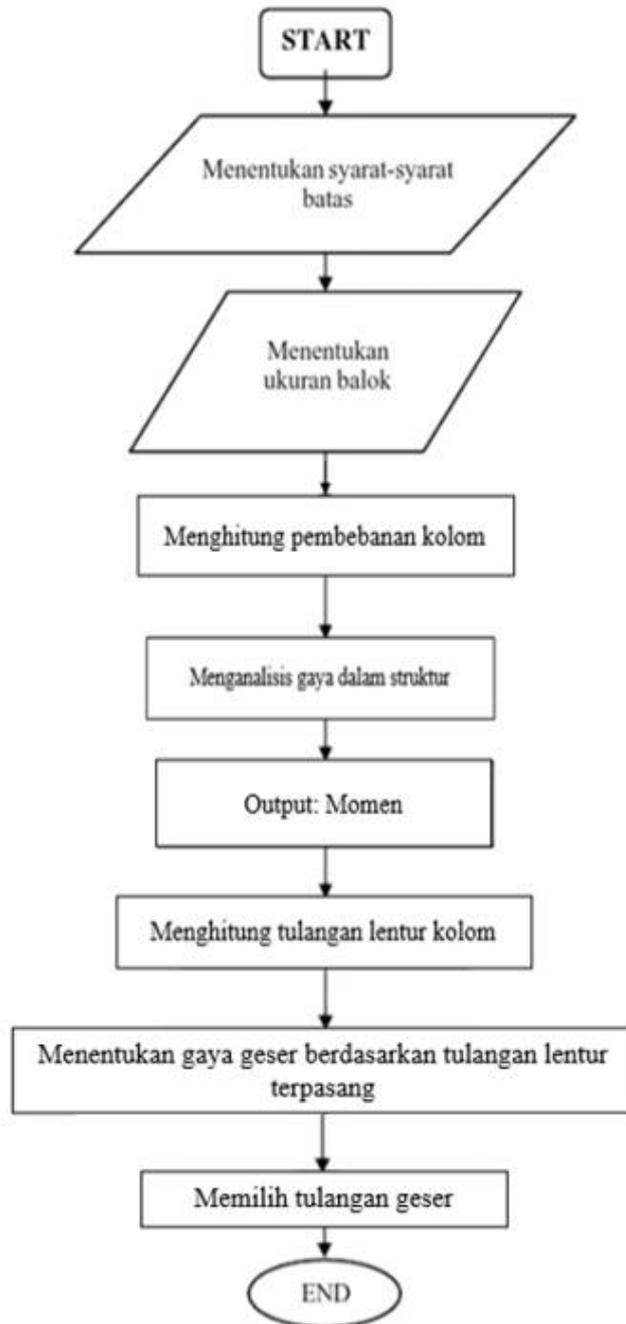
2.11.2 *Flowchart* Desain Balok



Gambar 2.25 *Flowchart* Desain Balok

(Sumber: Dokumen Pribadi)

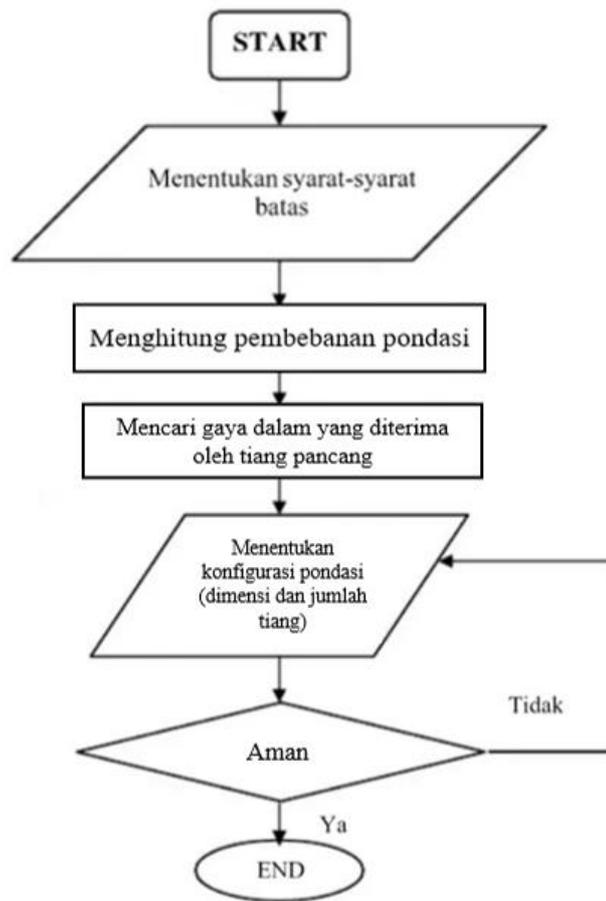
2.11.3 Flowchart Desain Kolom



Gambar 2.26 Flowchart Desain Kolom

(Sumber: Dokumen Pribadi)

2.11.4 *Flowchart* Desain Pondasi



Gambar 2.27 *Flowchart* Desain Pondasi

(Sumber: Dokumen Pribadi)

2.12 Perhitungan Volume Struktur

Perhitungan volume pada struktur dibutuhkan untuk mengetahui kebutuhan material dan bahan berdasarkan luasan bangunan dan untuk mengetahui seberapa besar luasan pekerjaan dalam satu satuan untuk menghitung suatu rencana anggaran biaya (RAB) suatu proyek. Volume merupakan suatu ukuran bangunan yang didasarkan dengan jumlah dan satuan yang ada. Volume pekerjaan dapat dihitung setelah menerima gambar rencana yang sudah dianalisis. Perhitungan volume pada perencanaan ini hanya meliputi volume pekerjaan elemen struktur pelat, balok, kolom, tangga, dan pondasi.