

BAB II

DASAR TEORI

2.1 KONSEP PEMILIHAN STRUKTUR

Desain struktur harus memperhatikan beberapa aspek, diantaranya :

1. Aspek Struktural (kekuatan dan kekakuan struktur)

Aspek ini merupakan aspek yang harus dipenuhi karena berhubungan dengan besarnya kekuatan dan kekakuan struktur dalam menerima beban-beban yang bekerja, baik beban vertikal maupun beban horizontal.

2. Aspek arsitektural dan ruang

Aspek ini berkaitan dengan denah dan bentuk gedung yang diharapkan memiliki nilai estetika dan fungsi ruang yang optimal yang nantinya berkaitan dengan dimensi dari elemen struktur.

3. Aspek pelaksanaan dan biaya

Meliputi jumlah pembiayaan yang diperlukan agar dalam proses pelaksanaannya perencana dapat memberikan alternatif rencana yang relatif murah dan memenuhi aspek mekanika, arsitektural, dan fungsionalnya.

4. Aspek perawatan gedung

Aspek berhubungan dengan kemampuan *owner* untuk mempertahankan gedung dari kerusakan yang terjadi.

Dalam pemilihan struktur bawah harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

1. Keadaan tanah pondasi

Keadaan tanah ini berhubungan dengan pemilihan tipe pondasi yang sesuai, yaitu jenis tanah, daya dukung tanah, kedalaman lapisan tanah keras

2. Batasan akibat struktur di atasnya

Keadaan struktur sangat mempengaruhi pemilihan jenis pondasi, yaitu kondisi beban dari struktur di atasnya (besar beban, arah beban, penyebaran beban).

3. Keadaan lingkungan disekitarnya

Meliputi: lokasi proyek, dimana pekerjaan pondasi tidak boleh mengganggu atau membahayakan bangunan dan lingkungan di sekitarnya.

4. Biaya dan waktu pelaksanaan pekerjaan

Pekerjaan pondasi harus mempertimbangkan biaya dan waktu pelaksanaannya sehingga proyek dapat dilaksanakan dengan ekonomis dan memenuhi faktor keamanan. Pelaksanaan juga harus memenuhi waktu yang relatif singkat agar pekerjaan dapat dilaksanakan dengan efektif dan efisien.

2.2 KRITERIA DASAR PERANCANGAN

Beberapa kriteria dasar yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Material struktur

Material struktur dapat dibagi menjadi empat (4) golongan yaitu:

a. Struktur kayu

Struktur kayu merupakan struktur dengan ketahanan yang cukup, kelemahan dari material ini adalah tidak tahan terhadap api, dan adanya bahaya pelapukan. Oleh karena itu material ini hanya digunakan pada bangunan tingkat rendah.

b. Struktur baja

Struktur baja sangat tepat digunakan pada bangunan bertingkat tinggi karena material baja mempunyai kekuatan serta tingkat daktilitas yang tinggi bila dibandingkan dengan material-material struktur yang lain

c. Struktur beton

Struktur beton banyak digunakan pada bangunan tingkat menengah sampai dengan bangunan tingkat tinggi. Struktur ini paling banyak digunakan bila dibandingkan dengan struktur lainnya karena struktur ini lebih monolit dan mempunyai umur rencana yang cukup panjang.

d. Struktur komposit

Struktur ini merupakan gabungan dari dua jenis material atau lebih. Pada umumnya yang sering digunakan adalah kombinasi antara baja struktural dengan beton bertulang. Kombinasi tersebut menjadikan struktur komposit memiliki perilaku struktur antara struktur baja dan struktur beton bertulang. Struktur komposit digunakan untuk bangunan tingkat menengah sampai dengan bangunan tingkat tinggi.

Setiap jenis material mempunyai karakteristik tersendiri sehingga suatu jenis bahan bangunan tidak dapat digunakan untuk semua jenis bangunan.

Spesifikasi material yang digunakan dalam perencanaan struktur gedung ini adalah sebagai berikut:

Beton $f'_c = 30 \text{ Mpa}$

Baja

- Tulangan Utama $f_y = 400 \text{ Mpa}$
- Tulangan Geser $f_y = 400 \text{ Mpa}$

2. Konfigurasi struktur bangunan

- Konfigurasi horisontal

Denah bangunan diusahakan memiliki bentuk yang sederhana, kompak, dan simetris tanpa mengesampingkan unsur estetika. Hal tersebut bertujuan agar struktur mempunyai titik pusat kekakuan yang sama dengan titik pusat massa bangunan atau memiliki eksentrisitas yang tidak terlalu besar sehingga tidak terjadi torsi. Struktur dengan bagian-bagian yang menonjol dan tidak simetris perlu adanya dilatasi

gempa (*seismic joint*) untuk memisahkan bagian struktur yang menonjol dengan struktur utamanya. Dilatasi tersebut harus memberikan ruang yang cukup agar bagian-bagian struktur yang dipisahkan tidak saling berbenturan saat terjadi gempa.

Gedung yang mempunyai denah sangat panjang sebaiknya dipisahkan menjadi beberapa bagian menggunakan *seismic joint* karena kemampuan untuk menahan gaya akibat gerakan tanah sepanjang gedung relatif lebih kecil.

- Konfigurasi vertikal

Konfigurasi struktur pada arah vertikal perlu dihindari adanya perubahan bentuk struktur yang tidak menerus. Hal ini dikarenakan apabila terjadi gempa maka akan terjadi pula getaran yang besar pada daerah tertentu dari struktur. Gedung yang relatif langsing akan mempunyai kemampuan yang lebih kecil dalam memikul momen guling akibat gempa.

- Konfigurasi rangka struktur

Ada dua macam yaitu: rangka penahan momen yang terdiri dari konstruksi beton bertulang berupa balok dan kolom, dan rangka dengan diafragma vertikal, adalah rangka yang digunakan bila rangka struktural tidak mencukupi untuk mendukung beban horizontal (gempa) yang bekerja pada struktur. Dapat berupa dinding geser (*shear wall*) yang dapat juga berfungsi sebagai *core walls*.

- Konfigurasi keruntuhan struktur

Perencanaan struktur di daerah gempa terlebih dahulu harus ditentukan elemen kritisnya. Mekanisme tersebut diusahakan agar sendi-sendi plastis terbentuk pada balok terlebih dahulu dan bukannya pada kolom. Hal ini dimaksudkan karena adanya bahaya ketidakstabilan akibat perpindahan balok jauh lebih kecil dibandingkan dengan kolom, selain itu kolom juga lebih sulit untuk diperbaiki daripada balok sehingga harus dilindungi dengan tingkat keamanan yang lebih tinggi. Oleh sebab itu konsep yang diterapkan adalah kolom harus lebih kuat

daripada balok (*strong coloum weak beam*).Oleh karena perencanaan ini berada dalam zona gempa sedang maka prinsip yang digunakan adalah disain biasa.

2.3 PERENCANAAN STRUKTUR ATAS

Struktur atas adalah bangunan gedung yang secara visual berada di atas tanah yang terdiri dari atap, pelat, tangga, lift, balok anak dan struktur portal utama yaitu kesatuan antara balok, kolom dan *shear wall*.Perencanaan struktur portal utama direncanakan dengan menggunakan prinsip *strong columm weak beam*, dimana sendi-sendi plastis diusahakan terletak pada balok.

2.3.1 Metode Analisis Struktur

2.3.1.1 Tinjauan terhadap beban lateral (gempa)

Kestabilan lateral dalam desain struktur merupakan faktor yang sangat penting, karena gaya lateral tersebut akan mempengaruhi elemen-elemen vertikal dan horisontal dari struktur.

Beban lateral yang sangat berpengaruh adalah beban gempa dimana efek dinamisnya menjadikan analisisnya lebih kompleks. Pada dasarnya ada dua buah metode analisis yang digunakan untuk menghitung pengaruh beban gempa pada struktur yaitu:

1. Metode analisa statik

Analisa statik merupakan analisa sederhana untuk menentukan pengaruh gempa yang hanya digunakan pada bangunan sederhana dan simetris, penyebaran kekakuan massa merata, dan tinggi struktur kurang dari 40 meter.

Analisa statik pada prinsipnya adalah menggantikan beban gempa dengan gaya-gaya statik ekivalen yang bertujuan menyederhanakan dan memudahkan perhitungan. Metode ini disebut juga Metode Gaya Lateral Ekivalen (*Equivalent Lateral Force*

Method), yang mengasumsikan besarnya gaya gempa berdasarkan hasil perkalian suatu konstanta / massa dari elemen tersebut.

Besarnya beban geser dasar nominal statik ekuivalen V yang terjadi di tingkat dasar menurut Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 02-1726-2003 pasal 6.1.2) dapat dihitung menurut persamaan:

$$V = \frac{C.I.W_t}{R} \quad (2.1)$$

Dimana :

V = Beban gempa dasar nominal

W_t = Berat total struktur sebagai jumlah dari beban-beban berikut ini:

- 1) Beban mati total dari struktur bangunan gedung;
- 2) Bila digunakan dinding partisi pada perencanaan lantai maka harus diperhitungkan tambahan beban sebesar 0.5 kPa;
- 3) Pada gudang-gudang dan tempat-tempat penyimpanan barang maka sekurang-kurangnya 25% dari beban hidup rencana harus diperhitungkan;
- 4) Beban tetap total dari seluruh peralatan dalam struktur bangunan gedung harus diperhitungkan..

C = Faktor spektrum respon gempa yang didapat dari spektrum respon gempa rencana menurut grafik C-T (Gambar 2.1)

I = Faktor keutamaan struktur (Tabel 2.1)

R = Faktor reduksi gempa (Tabel 2.2)

Tabel 2.1 Faktor keutamaan struktur (I)

Jenis Struktur bangunan gedung	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran	1
Monumen dan bangunan monumental	1
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi	1,5
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun	1,5
Cerobong, tangki di atas menara	1,25

Tabel 2.2 Faktor daktilitas (μ) dan faktor reduksi (R)

Sistem dan subsistem struktur bangunan gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	μ_m	R_m	f
1. Sistem dinding penumpu (Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu atau system bresing memikul hamper semua beban gravitasi. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing).	1. dinding geser beton bertulang	2.7	4.5	2.8
	2. Dinding penumpu dengan rangka baja ringan dan bresing tarik	1.8	2.8	2.2
	3. Rangka bresing dimana bresingnya memikul beban gravitasi			
	a. Baja	2.8	4.4	2.2
	b. Beton bertulang (tidak untuk wilayah 5 dan 6)	1.8	2.8	2.2
2. Sistem rangka gedung (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing)	1. Rangka bresing eksentrisitas baja (RBE)	4.3	7.0	2.8
	2. Dinding geser beton bertulang	3.3	5.5	2.8
	3. Rangka bresing biasa			
	a. Baja	3.6	5.6	2.2
	b. Beton bertulang (tidak untuk wilayah 5 dan 6)	3.6	5.6	2.2
	4. Rangka bresing konsentrik khusus			
	a. Baja	4.1	6.4	2.2
5. Dinding geser beton bertulang berangkai daktail	4.0	6.5	2.8	
6. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail penuh	3.6	6.0	2.8	

	7. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail parsial	3.3	5.5	2.8
3. Sistem rangka pemikul momen (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur)	1. rangka pemikul momen khusus (SRPMK)			
	a. Baja	5.2	8.5	2.8
	b. Beton bertulang	5.2	8.5	2.8
	2. Rangka pemikul momen menengah beton (SRPMM) (tidak untuk wilayah 5 dan 6)	3.3	5.5	2.8
	3. rangka pemikul momen biasa (SRPMB)			
a. Baja	2.7	4.5	2.8	
b. Beton bertulang	2.1	3.5	2.8	
4. Rangka batang baja pemikul momen khusus (SRBPMK)	4.0	6.5	2.8	
4. Sistem ganda (Terdiri dari : 1) rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi: 2) pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25 % dari seluruh beban lateral: 3) kedua system harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi/sistem ganda)	1. Dinding geser			
	a. Beton bertulang dengan SRBPMK beton bertulang	5.2	8.5	2.8
		2.6	4.2	2.8
	b. Beton bertulang dengan SRPMB baja	4.0	6.5	2.8
	c. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang			
	2. RBE baja			
	a. Dengan SRPMK baja	5.2	8.5	2.8
	b. Dengan SRPMB baja	2.6	4.2	2.8
	3. Rangka bresing biasa			
	a. Baja dengan SRPMK baja	4.0	6.5	2.8
	b. Baja dengan SRPMB baja	2.6	4.2	2.8
	c. Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang (tidak untuk wilayah 5 dan 6)	4.0	6.5	2.8
	d. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang (tidak untuk wilayah 5 dan 6)	2.6	4.2	2.8
4. Rangka bresing konsentrik khusus				
a. Baja dengan SRPMK baja	4.6	7.5	2.8	
b. Baja dengan SRPMB baja	2.6	4.2	2.8	
5. Sistem struktur bangunan gedung kolom kantilever: (Sistem struktur yang memanfaatkan kolom kantilever untuk memikul beban lateral)	Sistem struktur kolom kantilever	1.4	2.2	2

6. Sistem interaksi dinding geser dengan rangka	Beton bertulang menengah (tidak untuk wilayah 3,4,5,dan 6)	3.4	5.5	2.8
7. Subsistem tunggal (Subsistem struktur bidang yang membentuk bangunan gedung secara keseluruhan)	1. Rangka terbuka baja	5.2	8.5	2.8
	2. Rangka terbuka beton bertulang	5.2	8.5	2.8
	3. Rangka terbuka beton bertulang dengan balok beton pratekan (bergantung pada indeks baja total)	3.3	5.5	2.8
	4. Dinding geser beton bertulang berangkai daktail penuh	4.0	6.5	2.8
	5. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail parsial	3.3	5.5	2.8

Untuk menentukan harga C harus diketahui terlebih dahulu jenis tanah tempat struktur tersebut berdiri. SNI 03-1726-2003 membagi jenis tanah ke dalam tiga jenis tanah yaitu tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak. Dalam tabel 2.3 jenis tanah ditentukan berdasarkan kecepatan rambat gelombang geser (v_s), nilai hasil tes penetrasi standar (N), dan kuat geser niralir (S_n). Untuk menentukan kuat geser niralir dapat digunakan rumus tegangan dasar tanah sebagai berikut :

$$S_i = c + \sum \sigma_i \cdot \tan \phi \quad (2.2)$$

$$\sigma_i = \gamma_i \cdot t_i$$

Dimana :

S_i = Tegangan geser tanah

C = Nilai kohesi tanah pada lapisan paling dasar lapisan yang ditinjau

σ_i = Tegangan normal masing-masing lapisan tanah

γ_i = Berat jenis masing-masing lapisan tanah

t_i = Tebal masing-masing lapisan tanah

ϕ = Sudut geser pada lapisan paling dasar lapisan yang ditinjau

Dari persamaan diatas, untuk nilai γ , h , c yang berbeda (tergantung dari kedalaman tanah yang ditinjau) akan didapatkan kekuatan geser rerata (\bar{S}_n) dengan persamaan berikut:

$$\bar{S}_n = \frac{\sum_i^m t_i}{\sum_i^m (t_i / S_i)} \quad (2.3)$$

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_i^m t_i}{\sum_i^m (t_i / v_i)} \quad (2.4)$$

$$\bar{N} = \frac{\sum_i^m t_i}{\sum_i^m (t_i / N_i)} \quad (2.5)$$

dimana:

t_i = tebal lapisan tanah ke-i

v_{si} = kecepatan rambat gelombang geser melalui lapisan tanah ke-i

N_i = nilai hasil tes penetrasi standar lapisan tanah ke-i

S_{ni} = kuat geser niralir lapisan tanah ke-I yang harus memenuhi ketentuan bahwa $S_{ni} \leq 250$ kPa

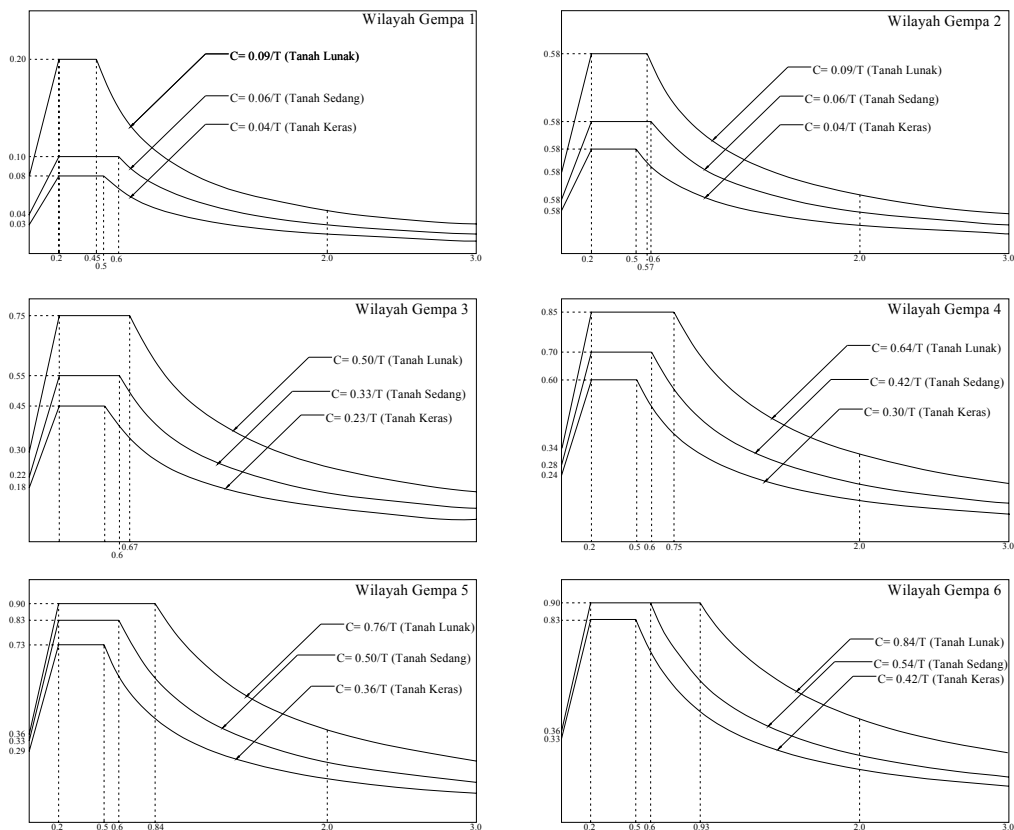
m = jumlah lapisan tanah yang ada di atas tanah dasar.

Tabel 2. 3 Definisi jenis tanah

Jenis tanah	Kecepatan rambat gelombang geser rerata, v_s (m/det)	Nilai hasil test penetrasi standar rerata N	Kuat geser niralir rerata S_n (kPa)
Tanah Keras	$v_s \geq 350$	$N \geq 50$	$S_n \geq 100$
Tanah sedang	$175 \leq v_s < 350$	$15 \leq N < 50$	$50 \leq S_n < 100$

Tanah Lunak	$v_s < 175$	$N < 15$	$S_n < 50$
	Atau semua jenis tanah lempung lunak dengan tebal total lebih dari 3 meter dengan $PI > 20$, $w_n \geq 40\%$ dan $S_u < 25$ kPa		
Tanah Khusus	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi		

Spektrum respon nominal gempa rencana untuk struktur dengan daktilitas penuh pada beberapa jenis tanah dasar, diperlihatkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. 1 Spektrum Respon Gempa SNI 03-1726-2003

Beban geser dasar nominal V menurut persamaan 2.1 harus dibagikan sepanjang tinggi struktur bangunan gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i yang menangkapi pada pusat massa lantai tingkat ke- i menurut persamaan:

$$F_i = \frac{W_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n (W_i \cdot z_i)} V \quad (2.6)$$

dimana:

W_i = berat lantai tingkat ke-i

z_i = ketinggian lantai tingkat ke-i

n = nomor lantai tingkat paling atas

Apabila rasio antara tinggi struktur bangunan gedung dan ukuran denahnya dalam arah pembebanan gempa sama dengan atau melebihi 3, maka $0,1V$ harus dianggap beban horizontal terpusat yang bekerja pada pusat massa lantai tingkat paling atas, sedangkan $0,9V$ sisanya harus dibagikan sepanjang tingkat struktur bangunan gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen menurut persamaan 2.6.

Waktu getar alami fundamental struktur bangunan gedung beraturan dalam arah masing-masing sumbu utama dapat ditentukan dengan rumus Rayleigh sebagai berikut:

$$T_1 = 6.3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_i}} \quad (2.7)$$

dimana:

d_i = simpangan horizontal lantai tingkat ke-i akibat beban F_i
(mm)

g = percepatan gravitasi sebesar $9,81 \text{ mm/detik}^2$

Apabila waktu getar alami fundamental T_1 struktur bangunan gedung untuk penentuan faktor Respon Gempa C_1 ditentukan dengan rumus-rumus empiris atau didapat dari analisis vibrasi bebas tiga

dimensi, nilainya tidak boleh menyimpang lebih dari 20% dari nilai yang dihitung menurut persamaan 2.7.

2. Metode analisa dinamik

Analisa dinamik pada perencanaan gedung tahan gempa diperlukan untuk evaluasi yang lebih akurat dari gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa yang sifatnya berulang. Analisa dinamik perlu dilakukan pada struktur bangunan tidak beraturan dengan karakteristik sebagai berikut:

- Gedung dengan konfigurasi struktur yang tidak beraturan
- Gedung dengan loncatan bidang muka yang besar
- Gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata
- Gedung yang tingginya lebih dari 40 meter

Daktilitas struktur bangunan gedung tidak beraturan harus ditentukan yang representative mewakili daktilitas struktur 3D. Tingkat daktilitas tersebut dapat dinyatakan dalam faktor reduksi gempa R representative, yang nilainya dapat dihitung sebagai nilai rerata berbobot dari faktor reduksi gempa untuk 2 arah sumbu koordinat ortogonal dengan gaya geser dasar yang dipikul oleh struktur bangunan gedung dalam masing-masing arah tersebut sebagai besaran pembobotnya menurut persamaan:

$$R = \frac{V_x + V_y}{V_x / R_x + V_y / R_y} \quad (2.8)$$

dimana R_x dan V_x adalah faktor reduksi gempa dan gaya geser dasar untuk pembebanan gempa dalam arah sumbu-x, sedangkan R_y dan V_y faktor reduksi gempa dan gaya geser dasar untuk pembebanan gempa dalam arah sumbu-y. Metoda ini hanya dipakai apabila rasio antara nilai-nilai faktor reduksi gempa untuk reduksi dua arah pembebanan gempa tersebut tidak lebih dari 1,5.

Nilai akhir respon dinamik struktur bangunan gedung terhadap pembebanan gempa nominal dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respon gempa yang pertama. Bila respon dinamik struktur bangunan gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal V_t maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan menurut persamaan:

$$V_t \geq 0.8V_1 \quad (2.9)$$

dimana V_1 adalah gaya geser dasar nominal sebagai respons ragam yang pertama terhadap pengaruh Gempa Rencana menurut persamaan:

$$V_1 = \frac{C_1 \cdot I \cdot W_t}{R} \quad (2.10)$$

dengan C_1 adalah nilai Faktor Respon Gempa yang di dapat dari spektrum Respons Gempa Rencana (gambar 2.1) untuk waktu getar alami pertama T_1 .

Perhitungan respon dinamik struktur bangunan gedung tidak beraturan terhadap pembebanan Gempa Nominal, dapat dilakukan dengan metoda analisis ragam spektrum respon dengan memakai diagram spektrum respon gempa rencana berdasar wilayah gempa dengan periode ulang 500 tahun pada Gambar 2.1. Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan respon ragam menurut metode ini harus sedemikian rupa, sehingga partisipasi massa ragam efektif dalam menghasilkan respon total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%.

2.3.1.2 Pemilihan Metode Analisis

Pemilihan metoda analisis untuk perencanaan struktur gedung tahan gempa, ditentukan berdasarkan konfigurasi struktur dan fungsi bangunan yang berkaitan dengan tanah dasar dan wilayah kegempaan.

1. Perancangan struktur bangunan yang kecil dan tidak bertingkat serta elemen-elemen non struktural, tidak diperlukan adanya analisa terhadap pengaruh beban gempa.
2. Perancangan beban gempa untuk bangunan yang berukuran sedang dapat menggunakan analisa beban statik ekuivalen. Hal ini disarankan untuk memeriksa gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur dengan menggunakan desain yang sesuai dengan kondisi struktur.
3. Perancangan struktur bangunan yang besar dan penting dengan distribusi kekakuan dan massa yang tidak merata ke arah vertikal dengan menggunakan analisa dinamik.
4. Perancangan struktur bangunan yang besar dan penting, konfigurasi struktur sangat tidak beraturan dengan tinggi lebih dari 40 meter, analisa dinamik dan inelastik diperlukan untuk memastikan bahwa struktur tersebut aman terhadap gaya gempa.

Berdasarkan ketentuan diatas, maka perencanaan struktur gedung dalam tugas akhir ini menggunakan metode analisa dinamik.

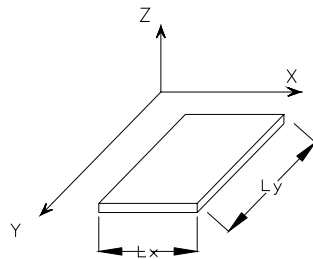
2.3.2 Perencanaan Pelat

Pelat adalah struktur planar kaku yang terbuat dari material monolit dengan tinggi yang kecil dibandingkan dengan dimensi-dimensi lainnya. Untuk merencanakan pelat beton bertulang perlu mempertimbangkan faktor pembebanan dan ukuran serta syarat-syarat dari peraturan yang ada. Pada perencanaan ini digunakan tumpuan jepit penuh untuk mencegah pelat berotasi dan relatif sangat kaku terhadap momen puntir dan juga di dalam pelaksanaan, pelat akan di cor bersamaan dengan balok.

Pelat merupakan panel-panel beton bertulang yang mungkin bertulangan dua atau satu arah saja tergantung sistem strukturnya. Apabila pada struktur pelat perbandingan bentang panjang terhadap lebar kurang dari 3, maka akan mengalami lendutan pada kedua arah sumbu. Beban

pelat dipikul pada kedua arah oleh balok pendukung sekeliling panel pelat, dengan demikian pelat akan melentur pada kedua arah. Dengan sendirinya pula penulangan untuk pelat tersebut harus menyesuaikan. Apabila panjang pelat sama dengan lebarnya, perilaku keempat balok keliling dalam menopang pelat akan sama. Sedangkan bila panjang tidak sama dengan lebar, balok yang lebih panjang akan memikul beban lebih besar dari balok yang pendek (penulangan satu arah).

Dimensi bidang pelat dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.2 Dimensi bidang pelat

Langkah-langkah perencanaan penulangan pelat adalah sebagai berikut :

1. Menentukan syarat-syarat batas, tumpuan dan panjang bentang.
2. Menentukan tebal pelat.

Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 maka tebal pelat ditentukan berdasarkan ketentuan sebagai berikut :

$$h_{\min} = \frac{\ln(0.8 + \frac{f_y}{1500})}{36 + 9\beta} \quad (2.11)$$

$$h_{\max} = \frac{\ln(0.8 + \frac{f_y}{1500})}{36} \quad (2.12)$$

h_{\min} pada pelat lantai ditetapkan sebesar 12 cm, sedang h_{\min} pada pelat atap ditetapkan sebesar 10 cm.

3. Menghitung beban yang bekerja pada pelat, berupa beban mati dan beban hidup terfaktor.

4. Menghitung momen-momen yang menentukan.

Berdasarkan Buku CUR 1, pada pelat yang menahan dua arah dengan terjepit pada keempat sisinya bekerja empat macam momen yaitu :

a. Momen lapangan arah x (M_{lx}) = koef x W_u x l_x^2 (2.13)

b. Momen lapangan arah y (M_{ly}) = koef x W_u x l_x^2 (2.14)

c. Momen tumpuan arah x (M_{tx}) = koef x W_u x l_x^2 (2.15)

d. Momen tumpuan arah y (M_{ty}) = koef x W_u x l_x^2 (2.16)

5. Mencari tulangan pelat

Berdasarkan Buku CUR 1, langkah-langkah perhitungan tulangan pada pelat adalah sebagai berikut :

a. Menetapkan tebal penutup beton menurut Buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang.

b. Menetapkan diameter tulangan utama yang direncanakan dalam arah x dan arah y.

c. Mencari tinggi efektif dalam arah x dan arah y.

d. Membagi M_u dengan $b \times d^2 \left(\frac{M_u}{b \times d^2} \right)$ (2.17)

dimana b = lebar pelat per meter panjang

d = tinggi efektif

e. Mencari rasio penulangan (ρ) dengan persamaan :

$$\left(\frac{M_u}{b \times d^2} \right) = \rho \times \phi \times f_y \left(1 - 0,588 \times \rho \times \frac{f_y}{f'_c} \right) \quad (2.18)$$

f. Memeriksa syarat rasio penulangan ($\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.19)$$

$$\rho_{\max} = \frac{\beta \times 450}{600 + f_y} \times \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \quad (2.20)$$

g. Mencari luas tulangan yang dibutuhkan

$$(A_s = \rho \times b \times d \times 10^6) \quad (2.21)$$

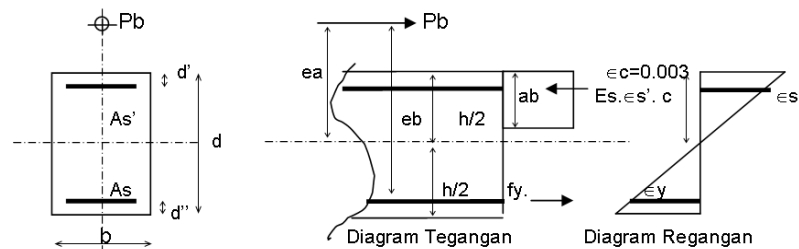
2.3.3 Perencanaan Balok

Perencanaan Balok meliputi balok induk, balok anak dan balok-balok untuk struktur penunjang . Untuk mencari besarnya gaya-gaya dalam pada balok (momen lentur, gaya geser, gaya normal dan momen torsi) dapat dilihat dari hasil perhitungan mekanika dengan **program komputer SAP-2000**. Balok dapat direncanakan menggunakan tulangan ganda (tulangan *double*) ataupun dengan menggunakan tulangan tunggal (tulangan *single*) . Perhitungan tulangan balok meliputi perhitungan tulangan lentur, geser dan torsi. Pada perhitungan tulangan lentur balok terdapat dua macam (kondisi) perhitungan, yaitu :

- Balok yang menderita momen & gaya aksial eksentris (balok induk portal)
- Balok yang menderita momen lentur saja (balok anak, balok melintang, balok penggantung *lift*, balok ring dll).

2.3.3.1 Dasar Perhitungan Tulangan Lentur Balok

- Akibat Pengaruh Momen Lentur Dan Gaya Aksial Eksentris



Gambar 2. 3 Diagram Tegangan Regangan Penampang Balok Tertekan Eksentris Keadaan *Balanced*

$$M_n = M_u / \phi \quad (\phi = 0,8) \quad (2.22)$$

$$e_a = M_n / P_n \quad (2.23)$$

$$c_b = 600.d / (f_y + 600) \quad (2.24)$$

$$P_b = 0,85 \cdot f'_c \cdot c_b \cdot b \rightarrow \text{Syarat } P_n < P_b \quad (2.25)$$

$$a = N_n / (0,85 \cdot f_c \cdot b) \quad (2.26)$$

$$ab = 0,85 \cdot cb \quad (2.27)$$

$$e = ea + \frac{1}{2} h - d' \quad (2.28)$$

a. Penampang dengan tulangan tidak simetris.

- Jika $e > (0,3 \cdot d + h/2 - d'')$

Gunakan $a = ab$

$$P \cdot e = R_l \cdot b \cdot ab \cdot (d - ab/2) + f_y \cdot A_s' \cdot (d - d') \quad (2.29)$$

$$A_s' = [P \cdot e - R_l \cdot b \cdot ab \cdot (d - ab/2)] / [f_y \cdot (d - d')] \quad (2.30)$$

$$= [P \cdot e - K_b \cdot R_l \cdot b \cdot d^2] / [f_y \cdot (d - d')]$$

$$A_s = [(R_l \cdot b \cdot ab - P) / f_y] + A_s' \quad (2.31)$$

Periksa letak tulangan tekan :

$$d' / c \leq (1 - f_y / 600) + A_s'$$

- Jika $e = (0,3 \cdot d + h/2 - d'')$ (2.32)

Maka $a = 0,8 \cdot d$

$$A_s' = [P - 0,8 \cdot R_l \cdot b \cdot d] / f_y \quad (2.33)$$

A_s tidak perlu dihitung

- Jika $e < (0,3 \cdot d + h/2 - d'')$

Maka $a \geq d$ dan $E_s \cdot e_s = -f_y$

$$P = R_l \cdot b \cdot a + f_y \cdot A_s' + f_y \cdot A_s \rightarrow a=d \quad (2.34)$$

$$A_s = [(P - R_l \cdot d \cdot b) / f_y] - A_s'$$

$$P \cdot e = R_l \cdot b \cdot d \cdot (d - d/2) + f_y \cdot A_s' \cdot (d - d')$$

$$A_s' = [(P \cdot e - 0,5 \cdot R_l \cdot b \cdot d^2) / [f_y \cdot (d - d')]] \quad (2.35)$$

b. Penampang tulangan simetris

$a = P / (R_l \cdot b) \rightarrow$ bandingkan a dengan ab dan d atau b

- Jika $a < ab$

$$P \cdot e = R_l \cdot b \cdot a \cdot (d - a/2) + f_y \cdot A_s' \cdot (d - d') \quad (2.36)$$

$$a = P / (R_l \cdot b)$$

$$A_s = A_s' = P \cdot [e - d + P / (2 \cdot R_l \cdot b)] / [f_y \cdot (d - d')] \quad (2.37)$$

- Jika $a \geq ab$, ataupun didapat $A_s = A_s' =$ negatif, maka :

$$\begin{aligned}
 A_s &= A_s' = [P \cdot e - F_b \cdot b \cdot d^2 \cdot R_l \cdot (1 - F_b / 2)] / [f_y (d - d')] \\
 &= [P \cdot e - K_b \cdot R_l \cdot b \cdot d^2] / [f_y \cdot (d - d')] \quad (2.38)
 \end{aligned}$$

Jika $A_s = A_s' =$ masih negatif maka A_s total $= (P - R_l \cdot A_g) / f_y$ seperti untuk $a \geq b$.

Batasan luas penampang tulangan : $0 \% \geq (A_s / A_g) \geq 1 \%.$

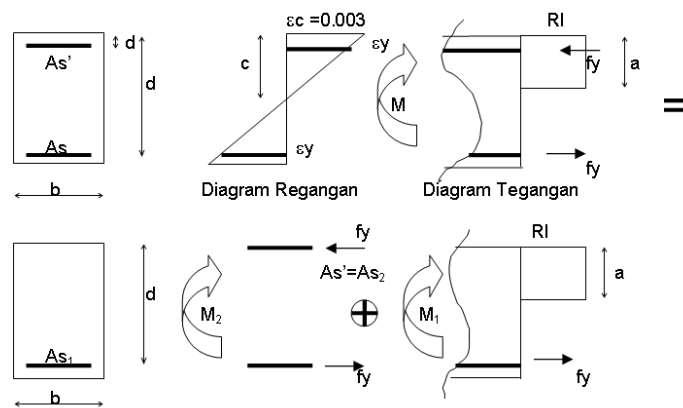
Checking Tulangan Balok :

$$\rho_{max} = \beta_1 \cdot [450 / (600 + f_y)] \cdot (R_l \cdot f_y) \quad (2.39)$$

$$\rho_{min} = 1,4 / f_y \quad (2.40)$$

$$\rho = A_{s \text{ terpasang}} / (b \cdot d) = \dots [\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}] \quad (2.41)$$

- Akibat Pengaruh Momen Lentur**



Gambar 2.4 Diagram Tegangan-Regangan Penampang Balok Dengan Tulangan Dobel

Checking bagian beton tertekan :

$$(A) = M_n = M_u / \phi \quad (2.42)$$

$$(B) = R_l \cdot b \cdot h_f \cdot (d - hf/2) \quad (2.43)$$

(A) < (B) → dihitung sebagai penampang persegi

(B) > (B) → dihitung sebagai penampang berflens

$$M = M_1 + M_2 \quad (2.44)$$

dimana :

M_1 = Momen yang ditahan penampang persegi tulangan single ($A_{s'}$)

M_2 = Momen yang ditahan oleh tulangan tekan (A_s') dan tambahan tulangan tarik (A_{s2})

$$M_1 = R_l \cdot b \cdot a \left(d - \frac{a}{2} \right) = A_{s1} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \text{ atau} \quad (2.45)$$

$$M_1 = K \cdot b \cdot d_2 \cdot R_l \quad (2.46)$$

$$A_{s2} = A_s - A_{s1} = A_s' \quad (2.47)$$

$$M_2 = A_{s2} \cdot f_y \cdot (d - d') \quad (2.48)$$

$$= A_s' \cdot f_y \cdot (d - d') \quad (2.49)$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \quad (2.50)$$

Adapun macam-macam perhitungan yang mungkin akan dijumpai adalah sebagai berikut :

- Jika M , b , h , R_l , f_y diketahui, maka dicari A_s' dan A_s . Cara penyelesaiannya dengan mencari K dulu. Jika $K > K_{max}$, berarti memang dibutuhkan tulangan tekan A_s' .

$$M_1 = K_{max} \cdot b \cdot d_2 \cdot R_l \quad (2.51)$$

$$M_2 = M - M_1 \quad (2.52)$$

$$A_s' = M_2 / [f_y \cdot (d - d')] = A_{s2} \quad (2.53)$$

$$A_{s1} = F_{max} \cdot b \cdot d \cdot R_l / f_y \quad (2.54)$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

Jika $M_2 \leq 0$, berarti penampang cukup menggunakan tulangan *single*.

- Jika M , b , h , R_l , f_y , A_s' diketahui, maka dicari A_s . Cara penyelesaiannya dengan mencari M_2 dulu :

$$M_2 = A_s' \cdot f_y \cdot (d - d') \quad (2.55)$$

Tetapi perlu diperiksa apakah A_s' perlu diperhitungkan.

$$M_1 = M - M_2 \quad (2.56)$$

jika $M_1 \leq 0$, maka A_s' tidak diperhitungkan (M ditahan seluruhnya oleh penampang tulangan *single* A_s).

Jika $M_1 > 0$, maka A_s' diperhitungkan

$$K = M_1 / (b \cdot d_2 \cdot R_l) \quad (2.57)$$

$$F = 1 - (1 - 2K)^{1/2} \quad (2.58)$$

$$A_{s1} = F \cdot b \cdot d \cdot R_l / f_y \quad (2.59)$$

$$A_s = A_{s1} + A_s' \quad (2.60)$$

Checking Tulangan Balok :

- $\rho = \frac{(As \text{ terpasang } As_2)}{b \cdot d} < \rho_{\max}$ (2.61)

- $(d' / d) \leq (d' / d)_{\max}$
 $(d' / d)_{\max} = (6000 - f_y) / (6000 + f_y)$ (2.62)

- $\rho < (R1 / f_y) \cdot (d' / d) \cdot \beta_1 \cdot (6000 / (6000 - f_y))$ (2.63)
 \rightarrow tulangan tarik & tekan telah leleh, karena momen kapasitasnya telah terlampaui.

- $\rho > (R1 / f_y) \cdot (d' / d) \cdot \beta_1 \cdot (6000 / (6000 - f_y))$ (2.64)
 \rightarrow tulangan tarik & tekan belum leleh, karena momen kapasitasnya tidak terlampaui.

2.3.3.2 Dasar Perhitungan Tulangan Geser Balok

Gaya geser yang bekerja pada penampang yang ditinjau harus direncanakan, sehingga :

$$\phi \cdot V_n \geq V_u \quad (2.65)$$

dimana :

$$\begin{aligned} V_u &= \text{ gaya lintang yang terjadi pada penampang yang ditinjau} \\ &= 1,2 VD + 1,6 VL \end{aligned} \quad (2.66)$$

$$\begin{aligned} V_n &= \text{ kekuatan geser nominal yang dihitung secara :} \\ V_n &= V_c + V_s \end{aligned} \quad (2.67)$$

V_c = kekuatan geser nominal sumbangan beton

V_s = kekuatan geser nominal sumbangan tulangan geser

Apabila gaya lintang yang terjadi lebih besar dari kekuatan geser nominal sumbangan beton, maka diperlukan tulangan geser untuk menopang sisa gaya lintang yang terjadi.

$$V_n = V_u / \phi \quad (\phi = 0,6) \quad (2.68)$$

$$V_c = (1/6) \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \quad (2.69)$$

$$\phi \cdot V_c = \phi \cdot (1/6) \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \quad (2.70)$$

$V_u < \phi \cdot V_c / 2 \rightarrow$ tidak perlu tulangan geser \rightarrow dipakai tul. praktis

$V_u > \phi \cdot V_c / 2 \rightarrow$ perlu tulangan geser

Checking penampang :

$$V_s \max = 0,6 \cdot 2/3 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \quad (2.71)$$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c$$

$V_s < \phi V_s \max$ OK! (penampang mencukupi)

- Jika $V_u < \phi \cdot V_c \rightarrow$ perlu tulangan geser minimum

$$A_v = (b \cdot s) / (3 \cdot f_y) \quad (2.72)$$

$s = \dots < d/2$, dengan $s =$ jarak antar tulangan geser dalam arah memanjang (mm)

- Jika $V_u \geq \phi \cdot V_c \rightarrow$ perlu tulangan geser

$$s = \frac{A_v \cdot d \cdot f_y}{V_u - V_c}, \text{ dengan } A_v = \text{luas penampang 2 kaki tulangan geser} \\ (\text{mm}^2) \quad (2.73)$$

Syarat :

$s < d/4$ (pada daerah sendi plastis $\rightarrow y = d$)

$s < d/2$ (pada daerah di luar sendi plastis $\rightarrow y = 2h$)

NB : Jika ada gaya aksial N_u , maka V_c harus dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Jika terdapat gaya aksial tekan :

$$V_c = 0,17 (1 + 0,073 \cdot (N_u / A_g)) \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (2.74)$$

\rightarrow jika $V_c > 0,3 \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \sqrt{ (1 + 0,3 N_u / A_g) }$ (=A), maka $V_c = A$

Jika terdapat gaya aksial tarik :

$$V_c = (1 - 0,3 N_u / A_g) \cdot 1/6 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d > 0 \quad (2.75)$$

\rightarrow jika $V_c > 0,3 \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$ (=B), maka $V_c = B$

2.3.3.1 Dasar Perhitungan Tulangan Kombinasi Geser Lentur dan Torsi / Puntir Balok :

Dalam *SK SNI T – 15 – 1991 – 03* bab 3 sampai dengan bab 4 dicantumkan cara memperhitungkan pengaruh – pengaruh torsi. Pasal

3.4.6.5 menentukan bahwa penampang yang dibebani torsi harus direncanakan sedemikian rupa sehingga memenuhi :

$T_u \leq \phi T_n$, dengan

T_u = momen torsi berfaktor pada penampang yang ditinjau

T_n = kuat momen torsi nominal yang dihitung dengan

$T_n = T_c + T_s$, dimana

T_c = kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh beton

T_s = kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh tulangan torsi.

ϕ = faktor reduksi

Di dalam praktek, momen puntir bekerja bersama sama dengan lentur.

Dalam buku Menghitung Beton Bertulang berdasar ACI, SNI, apabila diketahui kekuatan bahan, dimensi penampang, V_u , T_u dan N_u (N_u berharga positif jika tekan, negatif jika tarik), maka prosedur perhitungannya adalah sebagai berikut :

Untuk $f_y \leq 400$ Mpa, maka penampang cukup jika :

$$T_u = \frac{\phi \cdot \left(\sqrt{\frac{f'_c}{3}} \cdot \Sigma(x^2 \cdot y) \right)}{\sqrt{1 + [(0,4 \cdot V_u) / (C_t \cdot T_u)]^2}} \quad (2.76)$$

$$C_t = \frac{b_w \cdot d}{\Sigma(x^2 \cdot y)} \quad (2.77)$$

Jika $T_u < \{ \phi \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \Sigma(x^2 \cdot y) \} / 20$, maka pengaruh puntir dapat diabaikan.

Jika $T_u > \{ \phi \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \Sigma(x^2 \cdot y) \} / 20$, maka

$$T_u = \frac{\sqrt{\left(\frac{f'_c}{15} \right) \cdot \Sigma(x^2 \cdot y)}}{\sqrt{1 + [(0,4 \cdot V_u) / (C_t \cdot T_u)]^2}} \quad (2.78)$$

- Jika $Tu / \phi < Tc$ maka penulangan torsi minimum, s yang terkecil dari $(x1 + y1) / 4$ atau 30 cm atau $d / 2$.

$$Vc = \frac{(\sqrt{\frac{f'c}{6}})bw.d}{\sqrt{(1 + (Tu/Vu)^2 / (Ct/0,4)^2)}} \quad (2.79)$$

Hitung geser lentur dan Av (lihat bab geser lentur).

Luas penampang kedua kaki sengkang = $Av + 2 \cdot At$

Batasannya : $4 \cdot 0,34 \cdot bw \cdot (s / fy) > (Av + 2 \cdot At) \geq 0,34 \cdot bw \cdot (s / fy)$

Luas penampang total tulangan memanjang puntir :

$$A1 = 2 \cdot At \cdot (x1 + y1) / s$$

- Jika $Tu / \phi < Tc$ maka penampang cukup jika :

$$Ts = (Tu / \phi - Tc) \leq 4 \cdot Tu$$

$$Vc = \frac{(\sqrt{f'c/6}.bw.d)}{\sqrt{(1 + (Tu/Vu)^2 / (Ct/0,4)^2)}} \quad (2.80)$$

s yang terkecil dari $(x1 \cdot y1) / 4$ atau 30 cm atau $d / 2$.

$$\alpha T = 0,66 + 0,33 \cdot y1 / x1 \leq 1,5 \quad (2.81)$$

$$At = \frac{(Tu / \phi - Tc) \cdot s}{\alpha T \cdot x1 \cdot y1 \cdot fy} \quad (2.82)$$

$$\text{Luas penampang sebuah kaki sengkang} = (Av + 2 \cdot At) / 2 \quad (2.83)$$

Luas penampang tulangan memanjang puntir total :

$$A = 2 \cdot At (x1 + y1) / 2 \text{ atau} \quad (2.84)$$

$$A1 = ((2,8 \cdot x \cdot s) / fy) \cdot (Tu / (Tu + (Vu / (3 \cdot Ct))) - 2 \cdot At) \cdot (x1 + y1) / 5 \quad (2.85)$$

$$2 \cdot At > 0,34 \cdot bw \cdot (s / fy) \quad (2.86)$$

Periksa pula penulangan minimum dan jarak sengkang .

NB : Jika ada gaya aksial N_u , maka T_c dan V_c harus direduksi dengan $(1 + 0,3.N_u / A_g)$ dimana N_u bernilai positif untuk tekan dan negatif untuk tarik.

2.3.4 Perencanaan Kolom

Perhitungan tulangan kolom menurut buku CUR Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang, berdasarkan SKSNI T-15-1991-03, sebagai berikut :

Untuk mutu beton $f'_c = 15, 20, 25, 30$ dan 35 Mpa

Mutu baja = 240 dan 400 Mpa

Mencari harga $\frac{d}{h} = 0,10; 0,15$ dan $0,12$

Grafik penulangan :

$$\text{- Sumbu vertikal dengan nilai} = \frac{Pu}{\phi \cdot A_{gr} \cdot 0,85 \cdot F'_c} \quad (2.87)$$

$$\text{- Sumbu vertikal dengan nilai} = \frac{Pu}{\phi \cdot A_{gr} \cdot 0,85 \cdot F'_c} \cdot \left(\frac{e_1}{h} \right) \quad (2.88)$$

$$\text{Dimana } e_1 \text{ merupakan harga eksentrisitas} = \left(\frac{Mu}{P} \right) \quad (2.89)$$

Besaran pada kedua sumbu dapat dihitung dipetakan dalam bentuk grafik-grafik untuk mencari r .

$$A_{s \text{ tot}} = \beta \cdot r \quad ; \text{ dimana } \beta \text{ tergantung pada mutu beton} \quad (2.90)$$

f'_c	β
15	0,6
20	0,8
25	1,0
30	1,2
35	1,33

Kapasitas kolom akibat lentur dua arah (*biaxial bending*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Boris Bresler berikut ini :

Untuk $P_n > 0,1P_{no}$

$$\frac{1}{P_u} = \frac{1}{P_{ux}} + \frac{1}{P_{uy}} - \frac{1}{P_{uo}} \quad \text{atau}$$

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_{no}} \quad (2.91)$$

dimana:

P_{ux} = Beban aksial arah sumbu x pada saat eksentrisitas tertentu

P_{uy} = Beban aksial arah sumbu y pada saat eksentrisitas tertentu

P_{uo} = Beban aksial maksimal

Sedangkan untuk $P_n < 0,5P_{no}$ dapat digunakan rumus:

$$\frac{M_{ux}}{M_x} + \frac{M_{uy}}{M_y} \leq 1 \quad \text{atau}$$

$$\frac{M_{nx}}{M_{ox}} + \frac{M_{ny}}{M_{oy}} \leq 1 \quad (2.92)$$

Pengembangan dari persamaan di atas menghasilkan suatu bidang runtuh tiga dimensi dimana bentuk umum tak berdimensi dari metode ini adalah:

$$\left(\frac{M_{nx}}{M_{ox}} \right)^{\alpha_1} + \left(\frac{M_{ny}}{M_{oy}} \right)^{\alpha_2} = 1 \quad (2.93)$$

Besarnya α_1 dan α_2 menurut Bresler dapat dianggap sebesar 1,5 untuk penampang bujur sangkar, sedangkan untuk penampang persegi panjang nilai α bervariasi antara 1,5 dan 2,0 dengan harga rata-rata 1,75.

Dalam analisa kolom biaksial, dapat dilakukan konversi dari momen biaksial yang terdiri dari momen dua sumbu menjadi momen satu sumbu. Penentuan momen dan sumbu yang berpengaruh adalah sebagai berikut :

1. Untuk $M_{ny}/M_{nx} > b/h$

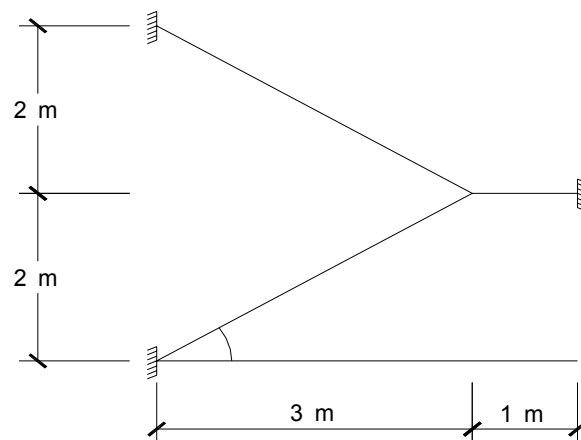
$$M_{y'} = M_{ny} + M_{nx} \cdot \frac{b}{h} \cdot \frac{1 - \beta}{\beta} \quad (2.94)$$

2. Untuk $M_{ny}/M_{nx} \leq b/h$

$$Mx' = Mnx + Mny \cdot \frac{h}{b} \cdot \frac{1 - \beta}{\beta} \quad (2.95)$$

2.3.5 Perencanaan Tangga

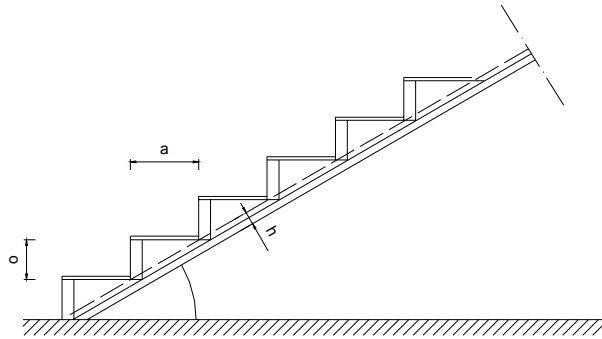
Struktur tangga digunakan untuk melayani aksesibilitas antar lantai pada gedung yang mempunyai tingkat lebih dari satu. Tangga merupakan komponen yang harus ada pada bangunan berlantai banyak walaupun sudah ada peralatan transportasi vertikal lainnya, karena tangga tidak memerlukan tenaga mesin.



Gambar 2. 5 Model struktur tangga

Adapun parameter yang perlu diperhatikan pada perencanaan struktur tangga adalah sebagai berikut :

- Tinggi antar lantai
- Tinggi Antrede
- Jumlah anak tangga
- Kemiringan tangga
- Tebal pelat beton
- Tinggi Optrede
- Lebar Bordes
- Lebar anak tangga
- Tebal selimut beton
- Tebal pelat tangga



Gambar 2. 6 Pendimensian struktur tangga

Menurut Buku Diktat Konstruksi Bangunan Sipil karangan Ir. Supriyono

$$o = \tan \alpha \times a \quad (2.96)$$

$$2 \times o + a = 61 \sim 65 \quad (2.97)$$

dimana : o = oprade (langkah naik)

a = antrede (langkah datar)

Langkah-langkah perencanaan penulangan tangga :

1. Menghitung kombinasi beban W_u dari beban mati dan beban hidup.
2. Menentukan tebal selimut beton, diameter tulangan rencana, dan tinggi efektif arah x (d_x) dan arah y (d_y).
3. Dari perhitungan SAP 2000, didapatkan momen pada tumpuan dan lapangan baik pada pelat tangga maupun pada bordes.
4. Menghitung penulangan pelat tangga dan bordes.

Berdasarkan Buku CUR 1, langkah-langkah perhitungan tulangan pada pelat tangga adalah sebagai berikut :

- a. Menetapkan tebal penutup beton menurut Buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang.
- b. Menetapkan diameter tulangan utama yang direncanakan dalam arah x dan arah y .
- c. Mencari tinggi efektif dalam arah x dan arah y .

$$d. \text{ Membagi } M_u \text{ dengan } b \times d^2 \left(\frac{M_u}{b \times d^2} \right) \quad (2.98)$$

dimana b = lebar pelat per meter panjang
 d = tinggi efektif

e. Mencari rasio penulangan (ρ) dengan persamaan :

$$\left(\frac{Mu}{b \times d^2} \right) = \rho \times \phi \times f_y \left(1 - 0,588 \times \rho \times \frac{f_y}{f'c} \right) \quad (2.99)$$

f. Memeriksa syarat rasio penulangan ($\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.100)$$

$$\rho_{\max} = \frac{\beta \times 450}{600 + f_y} \times \frac{0,85 \times f'c}{f_y} \quad (2.101)$$

g. Mencari luas tulangan yang dibutuhkan

$$(A_s = \rho \times b \times d \times 10^6) \quad (2.102)$$

2.3.6 Perencanaan Balok Perletakan Mesin dan Balok Pengatrol Mesin

Lift merupakan alat transportasi vertikal dalam gedung dari satu tingkat ke tingkat lain. Perencanaan lift disesuaikan dengan perkiraan jumlah lantai dan perkiraan jumlah pengguna lift. Dalam perencanaan lift, metode perhitungan yang dilakukan merupakan analisis terhadap konstruksi ruang tempat lift, balok perletakkan mesin, dan balok pengatrol lift.

Ruang landasan diberi kelonggaran supaya pada saat lift mencapai lantai paling bawah, lift tidak menumbuk dasar landasan, disamping berfungsi pula menahan lift apabila terjadi kecelakaan.

Langkah-langkah perencanaan balok perletakkan mesin dan balok pengatrol mesin :

1. Menghitung beban yang bekerja pada balok, berupa beban mati dan beban hidup.
2. Menghitung momen dan gaya lintang yang bekerja pada balok tersebut..
3. Menghitung penulangan balok.
 - Tulangan utama

Berdasarkan Buku CUR 1, langkah-langkah perhitungan tulangan pada pelat tangga adalah sebagai berikut :

- a. Menetapkan tebal penutup beton menurut Buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang.
- b. Menetapkan diameter tulangan utama yang direncanakan dalam arah x dan arah y.
- c. Mencari tinggi efektif dalam arah x dan arah y.

- d. Membagi Mu dengan $b \times d^2 \left(\frac{Mu}{b \times d^2} \right)$ (2.103)

dimana b = lebar pelat per meter panjang

d = tinggi efektif

- e. Mencari rasio penulangan (ρ) dengan persamaan :

$$\left(\frac{Mu}{b \times d^2} \right) = \rho \times \phi \times fy \left(1 - 0,588 \times \rho \times \frac{fy}{f'c} \right) \quad (2.104)$$

- f. Memeriksa syarat rasio penulangan ($\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} \quad (2.105)$$

$$\rho_{\max} = \frac{\beta \times 450}{600 + fy} \times \frac{0,85 \times f'c}{fy} \quad (2.106)$$

- g. Mencari luas tulangan yang dibutuhkan

$$(As = \rho \times b \times d \times 10^6) \quad (2.107)$$

- Tulangan geser

Berdasarkan Rancangan Standar Nasional Indonesia Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung 2002, langkah-langkah perhitungan tulangan geser pada balok adalah sebagai berikut :

- a. Menghitung nilai kuat geser penampang atau gaya lintang yang bekerja (Vu). (2.108)

- b. Menghitung nilai kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton ($Vc = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times b \times d$) (2.109)

- c. Memeriksa apakah diperlukan tulangan geser minimum

$$\phi \times \frac{V_c}{2} < V_u < \phi \times V_c \quad (2.110)$$

dimana ϕ = faktor reduksi geser = 0,75 (RSNI 2002)

d. Memeriksa apakah diperlukan tulangan geser

$$V_u > \phi \times V_c \quad (2.111)$$

Bila kondisi (2.47) terjadi, maka :

e. Mencari jarak tulangan geser (sengkang)

$$\text{Syarat : } s < d/2 \quad (2.112)$$

f. Mencari luas tulangan geser minimum yang diperlukan ($A_{v_{\min}}$)

$$A_{v_{\min}} = \frac{b \times s}{3 \times f_y}$$

dimana b = lebar balok (mm)

s = jarak tulangan geser (mm)

f_y = tegangan leleh tulangan geser (Mpa)

Bila kondisi (2.48) terjadi, maka :

g. Mencari jarak tulangan geser (sengkang)

$$\text{Syarat : } s < d/2 \quad (2.113)$$

h. Mencari kuat geser nominal tulangan geser (V_s)

$$V_u - V_c = V_s \quad (2.114)$$

i. Mencari luas tulangan geser yang diperlukan (A_v)

$$A_v = \frac{V_s \times s}{f_y \times d} \quad (2.115)$$

dimana : V_s = kuat geser tulangan geser (N)

s = jarak tulangan geser (mm)

f_y = tegangan leleh tulangan geser (Mpa)

d = jarak tulangan geser (mm)

2.3.7 Perencanaan Dinding, Pelat lantai, dan Pelat Atap Basement

Struktur *basement* pada perencanaan ini difungsikan sebagai lahan parkir. Pada perencanaan ini struktur *basement* yang direncanakan meliputi dinding dan pelat lantai. Beban – beban yang diperhitungkan

untuk perencanaan dinding *basement* adalah beban dari tekanan tanah yang nantinya beban tersebut di rubah menjadi beban merata pada dinding *basement*, untuk perencanaan lantai *basement* beban yang diperhitungkan adalah beban dari daya dukung tanah dibawah *basement*.

Untuk perhitungan momen pada dinding *basement* dihitung dengan mengandaikan dinding basement sebagai balok kantilever per meter panjang dengan beban segitiga berupa tekanan total (tanah+air). Sedang momen untuk pelat lantai dan pelat atap basement dicari dengan rumus mengacu pada Buku CUR 1 seperti pada perencanaan pelat lantai bangunan di atas, yaitu :

a. Momen lapangan arah x (M_{lx}) = koef x W_u x l_x^2 (2.116)

b. Momen lapangan arah y (M_{ly}) = koef x W_u x l_x^2 (2.117)

c. Momen tumpuan arah x (M_{tx}) = koef x W_u x l_x^2 (2.118)

d. Momen tumpuan arah y (M_{ty}) = koef x W_u x l_x^2 (2.119)

Untuk penulangan dinding dan pelat lantai, dan pelat atap basement dapat mengikuti prosedur yang sama dengan penulangan pelat lantai bangunan dan pelat tangga yang mengacu pada rumus-rumus dalam Buku CUR 1, yaitu :

a. Menetapkan tebal penutup beton menurut Buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang.

b. Menetapkan diameter tulangan utama yang direncanakan dalam arah x dan arah y.

c. Mencari tinggi efektif dalam arah x dan arah y.

d. Membagi M_u dengan $b \times d^2 \left(\frac{M_u}{b \times d^2} \right)$ (2.120)

dimana b = lebar pelat per meter panjang

d = tinggi efektif

e. Mencari rasio penulangan (ρ) dengan persamaan :

$$\left(\frac{M_u}{b \times d^2} \right) = \rho \times \phi \times f_y \left(1 - 0,588 \times \rho \times \frac{f_y}{f'_c} \right) \quad (2.121)$$

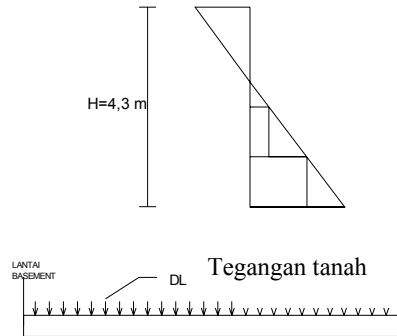
f. Memeriksa syarat rasio penulangan ($\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.122)$$

$$\rho_{\max} = \frac{\beta \times 450}{600 + f_y} \times \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \quad (2.123)$$

g. Mencari luas tulangan yang dibutuhkan

$$(A_s = \rho \times b \times d \times 10^6) \quad (2.124)$$



Gambar 2. 7 Sketsa Pembebanan Pada Dinding dan Lantai Basement

2.3.8 Perencanaan Struktur Bawah (Sub Structure)

Dalam merencanakan suatu struktur bawah dari konstruksi bangunan dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi, pemilihan tipe pondasi didasarkan pada hal-hal sebagai berikut : (*Sardjono, 1984*)

- Fungsi bangunan atas
- Besarnya beban dan berat dari bangunan atas
- Keadaan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan
- Jumlah biaya yang dikeluarkan

Tipe pondasi yang sering digunakan dalam struktur bangunan antara lain pondasi telapak, dan pondasi kaison bor (sumuran).

Berdasarkan data tanah diketahui bahwa tanah keras terdapat pada kedalaman 6 - 7 m. Dalam perencanaan gedung hotel ini digunakan dua jenis tipe pondasi, yaitu pondasi kaison bor (sumuran).

A. Pondasi Kaison Bor (sumuran)

Penentuan daya dukung pondasi kaison ditinjau melalui dua cara, yaitu berdasarkan kekuatan bahan dan berdasarkan hasil sondir. Kekuatan bahan dihitung dengan menggunakan rumus : (PBI 1971)

$$\sigma_b = 0,33 \times f'_c \quad (2.125)$$

$$P_{\text{sumuran}} = \sigma_b \times A_b \quad (2.126)$$

dimana :

P_{sumuran} = kekuatan pikul tiang yang diijinkan (kg)

f'_c = mutu beton yang digunakan (Mpa)

σ_b = tegangan tekan tiang yang diijinkan (kg/cm²)

A_b = luas penampang kaison (cm²)

Sedang perhitungan daya dukung menggunakan hasil sondir adalah sebagai berikut :

Rumus Terzaghi : (*Hardiyatmo, 2003*)

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s \quad (2.127)$$

$$Q_{ult} = (q_c \times A_b) + (f_s \times A_s) \quad (2.128)$$

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} \quad (2.129)$$

dimana :

Q_{ult} = kapasitas dukung ultimit (kg)

q_c = tahanan ujung (kg/cm²)

A_b = luas penampang kaison (cm²)

f_s = faktor gesek satuan antara tanah dan dinding kaison (kg/cm)

A_s = luas selimut kaison (cm²)

Q_{all} = kapasitas dukung ijin (kg)

SF = *safety factor* (diambil 2,5)

Dari kedua hasil tersebut dipilih nilai terkecil sebagai nilai daya dukung batas.

Pada perencanaan *pile cap*, perlu dicek terhadap beban maksimum yang diterima pondasi dimana harus lebih kecil dari daya dukung batas. Rumus yang digunakan yaitu : (Buku Rekayasa Pondasi II)

$$P_{\max} = \frac{\sum P_v}{n} \pm \frac{M_x \times Y}{\sum y^2} \pm \frac{M_y \times X}{\sum x^2} \quad (2.130)$$

dimana :

P_{\max} = beban maksimum yang diterima oleh pondasi (kg)

$\sum P_v$ = jumlah total beban normal/gaya aksial (kg)

M_x = momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu x (kgm)

M_y = momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu y (kgm)

n = banyaknya tiang pondasi kaison (diambil = 1)

X = absis terjauh kaison terhadap titik berat kaison ($X = 0$)

Y = ordinat terjauh kaison terhadap titik berat kaison ($Y = 0$)

$\sum x^2$ = jumlah kuadrat jarak ordinat-ordinat kaison (m²)

$\sum y^2$ = jumlah kuadrat jarak absis-absis kaison (m²)

Selain itu pada perencanaan *pile cap* perlu dicek tegangan pada *pile cap*, yaitu dengan menggunakan rumus : (Buku Rekayasa Pondasi II)

$$\sigma = \frac{\sum P_v}{A} \pm \frac{M_1 \times X}{I_y} \pm \frac{M_2 \times Y}{I_x} \quad (2.131)$$

dimana :

σ = tegangan yang diterima oleh pondasi (kg/m²)

$\sum P_v$ = jumlah total beban normal/gaya aksial (kg)

- M_x = momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu x (kgm)
- M_y = momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu y (kgm)
- A = luas bidang pile cap (m²)
- X = jarak dari titik berat pondasi ketitik di mana tegangan dihitung sepanjang respektif sumbu x (m)
- Y = jarak dari titik berat pondasi ketitik di mana tegangan dihitung sepanjang respektif sumbu y (m)
- I_x = momen inersia terhadap sumbu x (m⁴)
- I_y = momen inersia terhadap sumbu y (m⁴)

Pada pondasi kaisan bor, perlu dicek terhadap guling, geser, dan tegangan tanah. Perhitungan cek guling, geser, dan tegangan tanah pada pondasi kaisan dilakukan seperti pada struktur DPT, yaitu dengan membandingkan antara momen vertikal dan momen horisontal serta gaya vertikal dengan gaya horisontal. Sedang tegangan tanah dihitung berdasarkan data tanah yang ada. Berikut rumus yang digunakan :

- Cek Terhadap Guling

$$\frac{\sum M_v}{\sum M_h} \geq 1,5 \quad (2.132)$$

- Cek Terhadap Geser

$$\frac{\sum P_v \times \tan \phi_s + B \times c_s + \sum P_h}{\sum P_h} \geq 1,5 \quad (2.133)$$

- Cek terhadap Tegangan Tanah

$$\sigma_{ult} = 1,3 \times c_s \times N_c + D \times \gamma_0 \times N_q + 0,3 \times \gamma_1 \times B \times N_\gamma \quad (2.134)$$

$$\sigma_{save} = \frac{\sigma_{ult}}{SF} > \sigma_{mak} = \frac{\sum P_v}{A} \pm \frac{\sum M_h}{W} \quad (2.135)$$

Perhitungan geser pons pada pondasi kaisan bor dilakukan dengan membandingkan antara beban terpusat ($V_u = P_v = P_{\text{mak}} + P_{\text{pilecap}}$) dengan $\phi \times V_c$. Bila $\phi \times V_c > V_u$ maka pondasi aman terhadap geser pons, atau sebaliknya. Namun struktur pondasi diusahakan aman terhadap geser pons dengan memperbesar dimensi *pile cap*-nya.

Berikut rumus yang digunakan :

$$P_{\text{pile cap}} = ((B \times L \times h) - (B_{\text{kol}} \times L_{\text{kol}} \times h)) \times 2400 \quad (2.136)$$

$$P_v = P_{\text{mak}} + P_{\text{pile cap}} \quad (2.137)$$

$$b' = (2 \times \text{tinggi efektif (d)} + 2 \times \text{lebar kolom}) / 2 \quad (2.138)$$

$$\text{Keliling bidang kritis (bo)} = b' \times 4 \quad (2.139)$$

$$V_c = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c} \times b_o \times d \quad (2.140)$$

dimana d = tinggi efektif pile cap(cm)

$$\phi \times V_c = 0,75 \times V_c \quad (2.141)$$

Penulangan *pile cap* dihitung dengan cara mencari besar gaya total yang didukung oleh cincin sumuran akibat dari beban terpusat (P) dan momen (M_1 dan M_2). Momen maksimum dihitung dengan mengalikan antara gaya total dengan jarak cincin sumuran ke titik berat pondasi. Setelah diketahui nilai momennya, maka perhitungan penulangan menggunakan rumus seperti pada penulangan pelat. (Buku CUR 1)

Penentuan tebal cincin sumuran dihitung dengan mencari tegangan yang bekerja pada cincin sumuran akibat dari beban terpusat (P) dan momen (M_1 dan M_2). Rumus yang digunakan : (Diktat Kuliah Rekayasa Pondasi II karangan Ir. Indrastono DA, M.Ing)

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M_1}{W_1} \pm \frac{M_2}{W_2} \quad (2.142)$$

dimana :

σ = tegangan yang terjadi (kg/m^2)

P_v = beban terpusat yang bekerja (kg)

A = luas daerah yang ditinjau (m^2) = $\pi \times 2^2 - \pi \times \frac{1}{2} \times d^2$

M_1 = momen searah sumbu 1 (kgm)

M_2 = momen searah sumbu 2 (kgm)

$$W1 = \text{momen inersia daerah yang ditinjau (m}^4) = \frac{\pi}{32} \times \frac{(D^4 - d^4)}{D}$$

$$W2 = \text{momen inersia daerah yang ditinjau (m}^4) = \frac{\pi}{32} \times \frac{(D^4 - d^4)}{D}$$

B. Pondasi Tapak

Pondasi telapak termasuk pondasi dangkal. Pondasi jenis ini digunakan pada struktur tangga. Pondasi telapak direncanakan berbentuk persegi panjang. Untuk pondasi telapak persegi panjang ada beberapa macam cara untuk menghitung besarnya kapasitas daya dukung tanah (*bearing capacity of soil*). Salah satu rumus yang lazim digunakan adalah menurut *Terzaghi & Schultze* adalah sebagai berikut :

$$q_u = (1 + 0.3 B/L) \cdot c \cdot N_c + \gamma_o \cdot D_f \cdot N_q + (1 - 0.2 B/L)^{1/2} \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma \quad (2.143)$$

dimana :

D_f = kedalaman pondasi (m)

B = lebar pondasi (m)

L = panjang pondasi (m)

C = kohesi tanah (T/m²)

γ_o = berat isi tanah di atas dasar pondasi (T/m³)

γ_1 = berat isi tanah di bawah dasar pondasi (T/m³)

N_c, N_q, N_γ = koefisien kapasitas daya dukung

$q = D_f \cdot \gamma_o = \text{effective overburden pressure}$

Apabila muka air tanah (MAT) berada tepat pada dasar pondasi, maka γ_o harus diambil nilai γ_{sub} (submerged / keadaan jenuh air), sedangkan bila MAT berada di atas dasar pondasi maka $D_f \cdot \gamma_o$ harus diganti menjadi $D_{f1} \cdot \gamma_o + D_{f2} \cdot \gamma_o$.

Besarnya tegangan kontak yang terjadi pada dasar pondasi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{Mx.y}{I_y} + \frac{My.x}{I_x}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{P}{A} - \frac{Mx.y}{I_y} - \frac{My.x}{I_x} \quad (2.143)$$

Penulangan pondasi pelat dapat dihitung dengan cara seperti pada perhitungan penulangan pada struktur atas, setelah didapatkan momen yang bekerja pada pelat.