

## **BAB II**

### **STUDI PUSTAKA**

#### **2.1. TINJAUAN UMUM**

Dalam perencanaan suatu struktur bangunan, pemahaman akan dasar teori sangat dibutuhkan. Terutama pemahaman akan perilaku beban terhadap struktur mutlak harus dikuasai. Pemahaman teori akan beban yang akan ditinjau merupakan suatu hal yang sangat vital dalam merencanakan sebuah bangunan.

Pada bab ini akan dijelaskan tentang tata cara dan langkah-langkah perhitungan struktur mulai dari perhitungan pembebanan, perhitungan struktur atas yang meliputi plat, balok, kolom dan tangga sampai dengan perhitungan struktur bawah pondasi sumuran. Studi pustaka dimaksudkan agar dapat memperoleh hasil perencanaan yang optimal dan akurat. Oleh karena itu, dalam bab ini pula akan dibahas mengenai konsep pemilihan sistem struktur dan konsep perencanaan / desain struktur bangunannya, seperti konfigurasi denah dan pembebanan yang telah disesuaikan dengan syarat-syarat dasar perencanaan suatu gedung bertingkat yang berlaku di Indonesia sehingga diharapkan hasil yang akan diperoleh nantinya tidak akan menimbulkan kegagalan struktur.

#### **2.2. KONSEP PEMILIHAN SISTEM STRUKTUR**

Desain merupakan perhitungan setelah dilakukan analisis struktur. Lingkup desain pada struktur beton konvensional meliputi pemilihan dimensi elemen dan perhitungan tulangan yang diperlukan agar penampang elemen mempunyai kekuatan yang cukup untuk memikul beban-beban pada kondisi kerja (*service load*) dan kondisi batas (*ultimate load*).

Struktur dirancang dengan konsep kolom kuat balok lemah (*strong coulumn weak beam*), dimana sendi plastis direncanakan terjadi di balok untuk meratakan energi gempa yang masuk.

Pemilihan sistem struktur atas (*upper structure*) mempunyai hubungan yang erat dengan sistem fungsional gedung. Desain struktural akan mempengaruhi desain gedung secara keseluruhan. Dalam proses desain struktur perlu kiranya dicari kedekatan antara sistem struktur dengan masalah-masalah seperti arsitektural, efisiensi, *serviceability*, kemudahan pelaksanaan dan juga biaya yang diperlukan. Adapun faktor-faktor yang menentukan dalam pemilihan sistem struktur adalah sebagai berikut :

❑ Aspek arsitektural

Aspek ini dipertimbangkan berdasarkan kebutuhan jiwa manusia akan sesuatu yang indah. Bentuk-bentuk struktur yang direncanakan sudah semestinya mengacu pada pemenuhan kebutuhan yang dimaksud.

❑ Aspek fungsional

Perencanaan struktur yang baik sangat memperhatikan fungsi daripada bangunan tersebut. Dalam kaitannya dengan penggunaan ruang, aspek fungsional sangat mempengaruhi besarnya dimensi bangunan yang direncanakan.

❑ Aspek kekuatan dan stabilitas struktur

Aspek ini berkaitan dengan kemampuan struktur dalam menerima beban-beban yang bekerja baik beban vertikal maupun beban lateral yang disebabkan oleh gempa serta kestabilan struktur dalam kedua arah tersebut.

❑ Aspek ekonomi dan kemudahan pelaksanaan

Biasanya pada suatu gedung dapat digunakan beberapa macam sistem struktur. Oleh sebab itu faktor ekonomi dan kemudahan pelaksanaan pengerjaan merupakan faktor yang mempengaruhi sistem struktur yang akan dipilih.

❑ Faktor kemampuan struktur dalam mengakomodasi sistem layanan gedung

Pemilihan sistem struktur juga harus mempertimbangkan kemampuan struktur dalam mengakomodasikan sistem pelayanan yang ada, yakni menyangkut pekerjaan *mechanical* dan *electrical*.

Sedangkan pemilihan jenis struktur bawah (*sub-structure*) yaitu pondasi, menurut *Suyono (1984)* harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

□ Keadaan tanah pondasi

Keadaan tanah pondasi kaitannya adalah dalam pemilihan tipe pondasi yang sesuai. Hal tersebut meliputi jenis tanah, daya dukung tanah, kedalaman lapisan tanah keras dan sebagainya.

□ Batasan-batasan akibat struktur di atasnya

Keadaan struktur atas akan sangat mempengaruhi pemilihan tipe pondasi. Hal ini meliputi kondisi beban (besar beban, arah beban dan penyebaran beban) dan sifat dinamis bangunan di atasnya (statis tertentu atau tak tentu, kekakuannya, dll.)

□ Batasan-batasan keadaan lingkungan di sekitarnya

Yang termasuk dalam batasan ini adalah kondisi lokasi proyek, dimana perlu diingat bahwa pekerjaan pondasi tidak boleh mengganggu ataupun membahayakan bangunan dan lingkungan yang telah ada di sekitarnya.

□ Biaya dan waktu pelaksanaan pekerjaan

Sebuah proyek pembangunan akan sangat memperhatikan aspek waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan, karena hal ini sangat erat hubungannya dengan tujuan pencapaian kondisi yang ekonomis dalam pembangunan.

### **2.2.1. Jenis-jenis Struktur Atas (Portal)**

Secara umum jenis-jenis struktur atas yang biasa digunakan untuk bangunan gedung adalah sebagai berikut :

1. Struktur Baja (*Steel Structure*)

Struktur baja sangat tepat digunakan pada bangunan bertingkat tinggi, karena material baja mempunyai kekuatan serta tingkat daktilitas yang tinggi apabila dibandingkan dengan material-material struktur lainnya. Di beberapa negara, struktur baja tidak banyak dipergunakan untuk struktur bangunan tingkat rendah dan menengah, karena ditinjau dari segi biaya, penggunaan material baja untuk bangunan ini dipandang tidak ekonomis.

2. Struktur Komposit (*Composite Structure*)

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

3. Struktur Kayu (*Wooden Structure*)

Struktur kayu merupakan struktur dengan ketahanan yang cukup baik terhadap pengaruh gempa, dan mempunyai harga yang ekonomis. Kelemahan daripada struktur kayu ini adalah tidak tahan terhadap kebakaran dan struktur kayu hanya digunakan pada struktur bangunan tingkat rendah.

4. Struktur Beton Bertulang Cor Di Tempat (*Cast In Situ Reinforced Concrete Structure*)

Struktur beton bertulang ini banyak digunakan untuk struktur bangunan tingkat menengah sampai tinggi. Struktur ini paling banyak digunakan apabila dibandingkan dengan struktur yang lain karena struktur beton bertulang lebih *monolith* apabila dibandingkan dengan struktur baja maupun komposit. Dalam perencanaan struktur beton bertulang tahan gempa kiranya perlu diperhatikan adanya detail penulangan yang baik dan benar.

5. Struktur Beton Pracetak (*Precast Concrete Structure*)

Merupakan struktur beton dengan elemen-elemen struktural yang terbuat dari elemen pracetak, umumnya digunakan untuk struktur bangunan tingkat rendah sampai menengah. Kelemahannya struktur ini kurang monolit, sehingga ketahanannya terhadap pengaruh gempa kurang baik.

6. Struktur Beton Prategang (*Prestress Concrete Structure*)

Penggunaan sistem prategang pada suatu elemen struktural akan berakibat kurang menguntungkan pada kemampuan berdeformasi daripada struktur dan akan mempengaruhi karakteristik responnya terhadap gempa. Struktur ini

digunakan pada bangunan tingkat rendah dan menengah. Sistem prategang yang digunakan ada dua cara, yaitu :

- Sistem *Post-Tensioning*

Pada sistem ini beton dicor di tempat, kemudian setelah mencapai kekuatan 80 %  $f'c$  diberi gaya prategang. Biasanya digunakan untuk lantai dan balok.

- Sistem *Pre-Tensioning*

Pada sistem ini beton telah dicetak dan sebelumnya diberi gaya prategang di pabrik dan kemudian dipasang di lokasi. Sistem ini biasa digunakan untuk komponen balok, pelat dan tangga.

### **2.2.2. Jenis-jenis Struktur Bawah (Pondasi)**

Secara umum jenis-jenis struktur bawah (pondasi) menurut Zainal (1995) dibagi menjadi 2 bagian, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam.

Yang termasuk pondasi dangkal adalah sebagai berikut :

1. Pondasi Telapak

Pada umumnya digunakan untuk bangunan rumah tinggal dan gedung bertingkat ringan, yaitu dengan memperlebar bagian bawah kolom atau dinding bawah bangunan sehingga membentuk suatu telapak yang menyebarkan beban bangunan menjadi tegangan yang lebih kecil dari daya dukung tanah yang diijinkan. Jadi pondasi ini berfungsi untuk mendukung bangunan secara langsung pada lapisan tanah. Pondasi telapak ini dapat dibagi dalam empat jenis :

- a. Pondasi Telapak Tunggal

Digunakan untuk memikul sebuah kolom tunggal, tugu, menara, tangki air dan cerobong asap.

- b. Pondasi Telapak Menerus

Digunakan untuk menyangga suatu bangunan yang panjang, seperti dinding penahan tanah dan dinding bangunan .

c. Pondasi Telapak Gabungan

Digunakan untuk menahan beban kolom yang besar dan daya dukung tanahnya relatif kecil.

d. Pondasi Pelat

Merupakan sebuah pelat beton yang tebal dan menggunakan tulangan atas dan bawah yang menerus. Pondasi ini digunakan untuk bangunan yang didirikan pada tanah yang memiliki daya dukung rendah atau daya dukung kolom yang besar.

2. Pondasi Cakar Ayam

Pondasi cakar ayam digunakan di daerah rawa atau tepatnya pada tanah dengan kapasitas dukung  $1.5 - 3.5 \text{ ton} / \text{m}^2$ . Dasar pemikiran pondasi cakar ayam adalah pemanfaatan karakteristik tanah yang tidak dimanfaatkan oleh sistem pondasi lain, yaitu pemanfaatan adanya tekanan tanah pasif. Pondasi ini terdiri dari pelat beton bertulang dengan pipa-pipa beton yang dihubungkan secara monolit. Pelat beton tersebut akan mengapung di atas tanah rawa ataupun tanah lembek. Sedangkan kekakuannya diperoleh dari pipa beton bertulang yang berada di bawahnya yang dapat berdiri tegak akibat tekanan tanah pasif. Jadi fungsi pipa hanyalah sebagai pengaku dan bukannya sebagai penopang seperti halnya pondasi sumuran.

3. Pondasi Sarang Laba-laba

Pondasi sarang laba-laba berfungsi untuk memikul beban terpusat / kolom dari struktur atas seperti bangunan bertingkat tiga sampai lima, pabrik, hanggar, menara transmisi tegangan tinggi dan menara air. Pondasi ini terdiri dari pelat beton tipis, yang di bawahnya dikakukan oleh *rib-rib* tegak.

Sedangkan macam-macam pondasi dalam adalah sebagai berikut :

1. Pondasi Sumuran

Pondasi sumuran digunakan untuk kedalaman tanah keras  $2 - 5 \text{ m}$ . Pondasi ini dibuat dengan cara menanam blok-blok beton silinder dengan menggali tanah berbentuk sumuran / lingkaran berdiameter  $> 0.80 \text{ m}$  sampai mencapai tanah

keras. Pada bagian atas pondasi diberi *poer* untuk menerima dan meneruskan beban pondasi sumuran secara merata.

## 2. Pondasi Tiang

Pondasi tiang antara lain dibedakan sebagai berikut :

### a. Pondasi Tiang Kayu

Pondasi ini sangat cocok untuk daerah rawa dan daerah yang banyak terdapat hutan kayu, sehingga mudah memperoleh tiang kayu yang panjang dan lurus dengan diameter cukup besar. Biasanya satu tiang dapat menahan beban sampai 25 ton.

### b. Pondasi Tiang Baja

Kekuatan tiang ini cukup besar sehingga di dalam pengangkutan dan pemancangannya tidak menimbulkan bahaya patah seperti halnya pada tiang pancang beton pracetak. Pemakaiannya sangat bermanfaat apabila diperlukan pondasi tiang yang panjang / dalam dengan tahanan ujung yang besar. Satu-satunya kelemahan yang dimiliki adalah tidak tahan terhadap korosi atau karat.

### c. Pondasi Tiang Beton

Pondasi ini terdiri atas : Tiang PC, Tiang Mini, Tiang *Franky*, Tiang *Bump*, Tiang Bor, Tiang *Strauss* dan Tiang Mikro. Kesemuanya merupakan tiang beton pracetak.

## 3. Pondasi Caisson

Pondasi ini digunakan sebagai pondasi dasar bangunan yang dipakai apabila cara penggalian terbuka tidak dimungkinkan karena adanya air naik atau endapan pada dasar pondasi. Selain itu digunakan pula bila daya dukung tidak mencukupi dengan menggunakan pondasi tiang atau penurunan dan getaran memegang peranan dalam pemakaiannya.

### **2.3. KONSEP DESAIN / PERENCANAAN STRUKTUR**

Konsep tersebut merupakan dasar teori perencanaan dan perhitungan struktur yang meliputi desain terhadap beban lateral (gempa), denah dan

konfigurasi bangunan, pemilihan material, konsep pembebanan, faktor reduksi terhadap kekuatan bahan, konsep perencanaan struktur atas dan struktur bawah, serta sistem pelaksanaannya

### **2.3.1. Tinjauan Perencanaan Struktur Tahan Gempa**

Dalam mendesain struktur, kestabilan lateral adalah hal terpenting karena gaya lateral mempengaruhi desain elemen-elemen vertikal dan horizontal struktur. Mekanisme dasar untuk menjamin kestabilan lateral diperoleh dengan menggunakan hubungan kaku untuk memperoleh bidang geser kaku yang dapat memikul beban lateral.

Beban lateral yang paling berpengaruh terhadap struktur adalah beban gempa dimana efek dinamisnya menjadikan analisisnya lebih kompleks. Tinjauan ini diperlukan untuk mengetahui metode analisis, pemilihan metode dan kriteria dasar perancangannya.

#### **2.3.1.1. Metode Analisis Struktur terhadap Beban Gempa**

Metode analisis yang dapat digunakan untuk memperhitungkan pengaruh beban gempa terhadap struktur adalah sebagai berikut :

##### **1. Metode Analisis Statik.**

Analisis perancangan struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara statis, pada prinsipnya adalah menggantikan gaya-gaya horizontal yang bekerja pada struktur akibat pergerakan tanah dengan gaya-gaya statis yang ekuivalen, dengan tujuan penyederhanaan dan kemudahan di dalam perhitungan. Metode ini disebut Metode Gaya Lateral Ekuivalen (*Equivalent Lateral Force Method*). Pada metode ini diasumsikan bahwa gaya horizontal akibat gempa yang bekerja pada suatu elemen struktur, besarnya ditentukan berdasarkan hasil perkalian antara suatu konstanta berat / massa dari elemen struktur tersebut.



## 2. Metode Analisis Dinamis

Analisis dinamis untuk perancangan struktur tahan gempa dilakukan jika diperlukan evaluasi yang lebih akurat dari gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa. Pada struktur bangunan tingkat tinggi atau struktur dengan bentuk atau konfigurasi yang tidak teratur. Analisis dinamis dapat dilakukan dengan cara elastis maupun inelastis. Pada cara elastis dibedakan Analisis Ragam Riwayat Waktu (*Time History Modal Analysis*), dimana pada cara ini diperlukan rekaman percepatan gempa dan Analisis Ragam Spektrum Respons (*Response Spectrum Modal Analysis*), dimana pada cara ini respons maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Spektrum Respons Rencana (*Design Spectra*). Sedangkan pada analisis dinamis elastis digunakan untuk mendapatkan respons struktur akibat pengaruh gempa yang sangat kuat dengan cara integrasi langsung (*Direct Integration Method*). Analisis Dinamis Elastis lebih sering digunakan karena lebih sederhana.

### 2.3.1.2. Pemilihan Cara Analisis

Untuk struktur bangunan yang kecil dan tidak bertingkat, serta elemen-elemen non-struktural, tidak diperlukan adanya analisis terhadap pengaruh beban gempa. Untuk perancangan gempa dari struktur bangunan yang berukuran sedang, dapat dipergunakan Analisis Beban Statik Ekuivalen. Dalam hal ini disarankan untuk memeriksa gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur dengan menggunakan spektrum desain yang sesuai dengan kondisi struktur. Sedangkan untuk struktur bangunan yang besar dan penting serta struktur dengan distribusi kekakuan dan massa yang tidak merata ke arah vertikal analisis perancangan terhadap pengaruh gempa dilakukan menggunakan Analisis Modal. Untuk struktur bangunan yang sangat besar dan penting, analisis dinamis inelastis kadang-kadang diperlukan untuk memastikan bahwa struktur tersebut cukup aman terhadap pengaruh gempa kuat.

Untuk keperluan analisis dinamis, baik elastis maupun inelastis, biasanya struktur dimodelkan sebagai suatu sistem dengan massa-massa terpusat (*Lumped*

*Mass Model*). Kesemua cara analisis yang ada pada dasarnya adalah untuk memperoleh respons maksimum yang terjadi pada struktur akibat pengaruh percepatan gempa. Respon tersebut umumnya dinyatakan dengan besaran perpindahan (*displacement*) yang terjadi. Dengan besaran ini maka besarnya gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur dapat ditentukan lebih lanjut untuk keperluan perencanaan.

### **2.3.1.3. Kriteria Dasar Perancangan**

Pada tahap awal dari perancangan / desain struktur bangunan, konfigurasi denah, material struktur dan bentuk struktur harus ditentukan terlebih dahulu. Pemilihan ini akan mempengaruhi tahap selanjutnya dari proses perancangan struktur. Beberapa kriteria yang perlu diperhatikan antara lain :

#### **□ Material Struktur**

Setiap jenis material struktur mempunyai karakteristik tersendiri, sehingga suatu jenis bahan bangunan tidak dapat dipergunakan untuk semua jenis bangunan.

#### **□ Konfigurasi Bangunan, antara lain :**

##### **▪ Konfigurasi Denah**

Denah bangunan diusahakan mempunyai bentuk yang sederhana, kompak serta simetris agar mempunyai kekakuan yang sama terhadap pengaruh torsi. Pada struktur dengan bagian-bagian menonjol dan tidak simetris perlu adanya dilatasi gempa (*seismic joint*) untuk memisahkan bagian struktur yang menonjol dengan struktur utamanya. Dilatasi tersebut harus mempunyai jarak yang cukup, agar bagian-bagian struktur yang dipisahkan tidak saling berbenturan saat terjadinya gempa.

##### **▪ Konfigurasi Vertikal**

Pada arah vertikal struktur, perlu dihindari adanya perubahan bentuk yang tidak menerus, jika konfigurasi struktur dalam arah vertikal tidak menerus,

suatu gerak getaran yang besar akan terjadi pada tempat-tempat tertentu pada struktur. Dalam hal ini akan diperlukan analisis dinamik.

- Kekakuan dan kekuatan

Baik pada arah vertikal maupun horizontal perlu dihindari adanya perubahan kekuatan dan kekakuan yang drastis.

- Sistem Rangka Struktural

Ada dua macam, yaitu :

- Rangka Penahan Momen

Rangka jenis ini paling banyak dipergunakan, berupa konstruksi beton bertulang yang terdiri dari elemen – elemen balok dan kolom.

- Rangka dengan Diafragma Vertikal

Jika kekuatan dan kekakuan dari suatu rangka struktural tidak mencukupi untuk mendukung beban-beban yang bekerja, maka perlu dipasang dinding-dinding geser (*Shear Walls*) yang dapat pula berfungsi sebagai *Core Walls*.

- Model Keruntuhan Struktural

Pada perencanaan struktur di daerah gempa menggunakan desain kapasitas terlebih dahulu harus ditentukan elemen-elemen kritisnya, sedemikian rupa sehingga mekanisme keruntuhannya dapat memencarkan energi sebesar-besarnya. Mekanisme tersebut diusahakan agar sendi-sendi plastis terbentuk pada balok terlebih dahulu dan bukannya pada kolom. Hal tersebut dengan pertimbangan bahwa bahaya ketidakstabilan akibat efek perpindahan jauh lebih kecil dibandingkan dengan mekanisme sendi plastis pada kolom dan juga kolom lebih sulit diperbaiki daripada balok sehingga harus dilindungi dengan tingkat keamanan yang lebih tinggi. Oleh sebab itu konsep yang diterapkan hendaknya adalah kolom lebih kuat dari pada balok (*Strong Column Weak Beam*).

### 2.3.2. Denah dan Konfigurasi Bangunan

Dalam mendesain struktur masjid ini, perlu direncanakan terlebih dahulu denah struktur pada setiap lantai bangunan tersebut, sehingga penempatan balok dan kolom pada bangunan dapat sesuai dengan perencanaan ruang. Gambar-gambar denah struktur, denah ruang, tampak maupun potongan dapat dilihat pada lampiran yang terletak pada bagian akhir laporan ini.

### 2.3.3. Data-Data Material

Adapun spesifikasi bahan / material yang digunakan dalam perencanaan struktur masjid ini adalah sebagai berikut :

- Beton :  $f'c = 25 \text{ Mpa}$                        $E_c = 4700 \sqrt{f'c} = 23500 \text{ Mpa}$
- Baja :  $f_y = 400 \text{ Mpa}$  (tul utama)     $E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 = 2.1 \times 10^5 \text{ Mpa}$   
           $f_{ys} = 240 \text{ Mpa}$  (tul geser)

### 2.3.4. Pembebanan

Besar dan macam beban yang bekerja pada struktur sangat tergantung dari jenis struktur. Berikut ini akan disajikan jenis-jenis beban, data beban dan faktor-faktor dan kombinasi pembebanan serta faktor reduksi bahan sebagai dasar acuan bagi perhitungan struktur.

#### 2.3.4.1. Jenis - Jenis Beban

Jenis-jenis beban yang biasa diperhitungkan dalam perencanaan struktur bangunan gedung adalah sebagai berikut :

- Beban mati (*Dead Load* / DL)  
Beban mati merupakan berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari struktur itu. Yang termasuk beban mati adalah berat struktur sendiri dan juga semua benda yang tetap posisinya selama struktur berdiri.

<b>Beban mati</b>	<b>Besar beban</b>
Batu Alam	2600 kg/m <sup>3</sup>
Beton bertulang	2400 kg/m <sup>3</sup>
Dinding pasangan ½ bata	250 kg/m <sup>2</sup>
Langit-langit + penggantung	18 kg/m <sup>2</sup>
Lantai ubin	24 kg/m <sup>2</sup>
Spesi per cm tebal	21 kg/m <sup>2</sup>

**Tabel 2.1 Beban mati pada struktur**

□ Beban hidup (*Life load / LL*)

Beban hidup merupakan beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Meski dapat berpindah-pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja perlahan-lahan pada struktur. Untuk menentukan secara pasti beban hidup yang bekerja pada suatu lantai bangunan sangatlah sulit, dikarenakan fluktuasi beban hidup bervariasi, tergantung oleh banyak faktor. Oleh karena itu, faktor beban-beban hidup lebih besar dibandingkan dengan beban mati.

<b>Beban hidup</b>	<b>Besar beban</b>
Beban hidup pada lantai masjid	400 kg/m <sup>2</sup>
Tangga dan borders	500 kg/m <sup>2</sup>
Beban pekerja	100 kg/m <sup>2</sup>

**Tabel 2.2 Beban Hidup pada lantai bangunan**

□ Beban gempa (*Earthquake Load / EL*)

Besarnya Beban Gempa Dasar Nominal horizontal akibat gempa menurut Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI-1726 – 1998), dinyatakan sebagai berikut:

$$V = \frac{CI}{R} W_t$$

dimana :

V = beban gempa dasar nominal (beban gempa rencana)

$W_t$  = kombinasi dari beban mati dan beban hidup vertical yang direduksi

C = spektrum respon nominal gempa rencana, yang besarnya tergantung dari jenis tanah dasar dan waktu getar struktur

I = faktor keutamaan struktur

R = faktor Reduksi Gempa

Untuk menentukan harga C harus diketahui terlebih dahulu jenis tanah tempat struktur bangunan berdiri. Untuk menentukan jenis tanah digunakan rumus tegangan geser tanah sebagai berikut: :

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

$$\sigma_1 = \gamma_1 \cdot h_1$$

dimana :

$\tau$  = tegangan geser tanah ( $\text{Kg} / \text{Cm}^2$ )

c = nilai kohesi tanah pada lapisan paling dasar lapisan yang ditinjau

$\sigma_i$  = tegangan normal masing-masing lapisan tanah ( $\text{Kg}/\text{Cm}^2$ )

$\gamma_i$  = berat jenis masing-masing lapisan tanah ( $\text{Kg}/\text{Cm}^3$ )

$h_i$  = tebal masing-masing lapisan tanah

$\phi$  = sudut geser pada lapisan paling dasar lapisan yang ditinjau.

Jenis Tanah	Kecepatan rambat gelombang geser rerata ( $v_s$ ) (m/det)	Nilai hasil test penetrasi standart rerata ( $\tilde{N}$ )	Kuat geser niralir rerata $\hat{S}_u$ (kPa)
Tanah Keras	$v_s \geq 350$	$\tilde{N} \geq 50$	$\hat{S}_u \geq 100$
Tanah Sedang	$175 \leq v_s < 350$	$15 \leq \tilde{N} < 50$	$50 \leq \hat{S}_u < 100$
Tanah Lunak	$v_s < 175$	$\tilde{N} < 15$	
	atau, semua jenis tanah lempung lunak dengan tebal total lebih dari 3 meter dengan $PI > 20$ , $w_n \geq 40\%$ dan $\hat{S}_u < 25$ Kpa		
Tanah khusus	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi		

**Tabel 2.3. Definisi Jenis Tanah**

Pemakaian faktor keutamaan struktur (I) pada analisa perhitungan bangunan tahan gempa dimaksudkan untuk memperpanjang waktu ulang dari kerusakan struktur gedung akibat gempa dimana nilainya adalah lebih besar dari 1,0. Faktor keutamaan struktur (I) ini penentuannya didasarkan pada fungsi bangunan yang dapat dilihat lebih lengkapnya pada tabel di bawah ini :

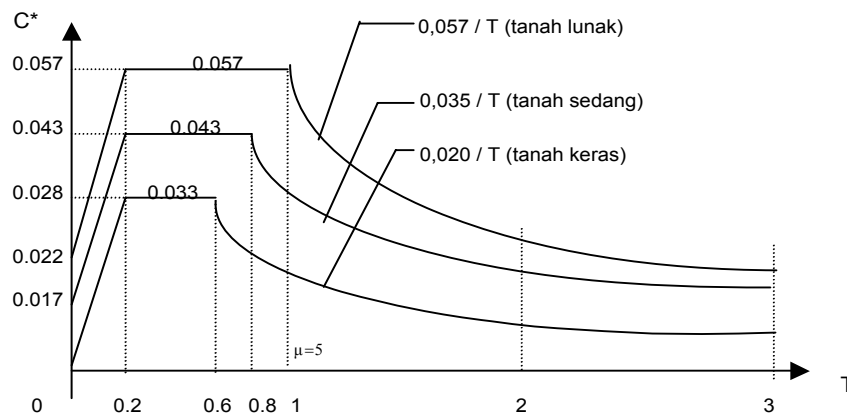
Kategori gedung	Faktor Keutamaan		
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran.	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun.	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

**Tabel 2.4. Faktor Keutamaan Struktur**

Sistem dan subsistem struktur bangunan gedung	Uraian system pemikul beban gempa	Rm
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	8,5
	a. Baja	8,5
	b. Beton bertulang	8,5
	2.Rangka pemikul momen menengah beton (SRPMM)(tidak untuk wilayah 5 dan 6)	5,5
	3. Rangka pemikul momen biasa (SRPMB)	4,5
	a. Baja	4,5
	b. Beton bertulang	3,5
	4.Rangka batang baja pemikul momen khusus (SRBPMK)	6,5

**Tabel 2.5. Faktor Reduksi Gempa**

Besarnya faktor respon gempa didapat dari diagram spektrum respon gempa diperlihatkan pada gambar dibawah ini:



**Gambar 2.1. Grafik Spektrum Respon Gempa**



□ **Beban Angin (*Wind Load* / WL)**

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIG) 1983 pasal 4.4.2. pada gedung tertutup dengan tinggi  $\geq 16$  meter dapat diberikan pembebasan atas pengaruh angin.

**2.3.4.2. Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan**

Berdasarkan SKSNI SNI 03-1726-2002 dikatakan bahwa beban yang bekerja pada struktur harus dikalikan dengan faktor beban :

- Untuk beban hidup : 1.6
- Untuk beban mati : 1.2

Beberapa kombinasi pembebanan yang harus ditinjau :

□ **Kombinasi pembebanan tetap**

$$U = 1.2 D + 1.6 L$$

□ **Kombinasi pembebanan sementara akibat Gempa**

$$U = 1.2 D + 0.5 L \pm 1.0 (I/R) E$$

dimana :

- D = Beban Mati
- L = Beban Hidup
- E = Beban Gempa
- I = Faktor Keutamaan Struktur
- R = Faktor Reduksi Gempa

**2.3.4.3. Faktor Reduksi Kekuatan**

Faktor reduksi kekuatan merupakan suatu bilangan yang bersifat mereduksi kekuatan bahan, dengan tujuan untuk mendapatkan kondisi paling buruk jika pada saat pelaksanaan nanti terdapat perbedaan mutu bahan yang ditetapkan sesuai standar bahan yang ditetapkan dalam perencanaan sebelumnya. RSNI 2002 menetapkan berbagai nilai faktor reduksi ( $\phi$ ) untuk berbagai jenis besaran gaya yang didapat dari perhitungan struktur.

Kondisi Pembebanan	Faktor Reduksi
Beban lentur tanpa gaya aksial	0.80
Beban aksial dan beban aksial dengan lentur	
- Gaya aksial tarik, aksial tarik dengan lentur	0.80
- Gaya aksial tekan, aksial tekan dengan lentur	
» Dengan tulangan Spiral	0.70
» Dengan tulangan biasa	0.65
Lintang dan Torsi	0.75
- Pada komponen struktur penahan gempa kuat	0.55
- Pada kolom dan balok yang diberi tulangan diagonal	0.80
Tumpuan pada Beton	0.65
Daerah pengangkuran pasca tarik	0.85
Penampang lentur tanpa beban aksial pada komponen struktur pratarik dimana panjang penanaman <i>strand</i> -nya kurang dari panjang penyaluran yang ditetapkan	0.75
Beban lentur, tekan, geser dan tumpu pada beton polos structural	0.55

**Tabel 2.6. Tabel Reduksi Kekuatan**

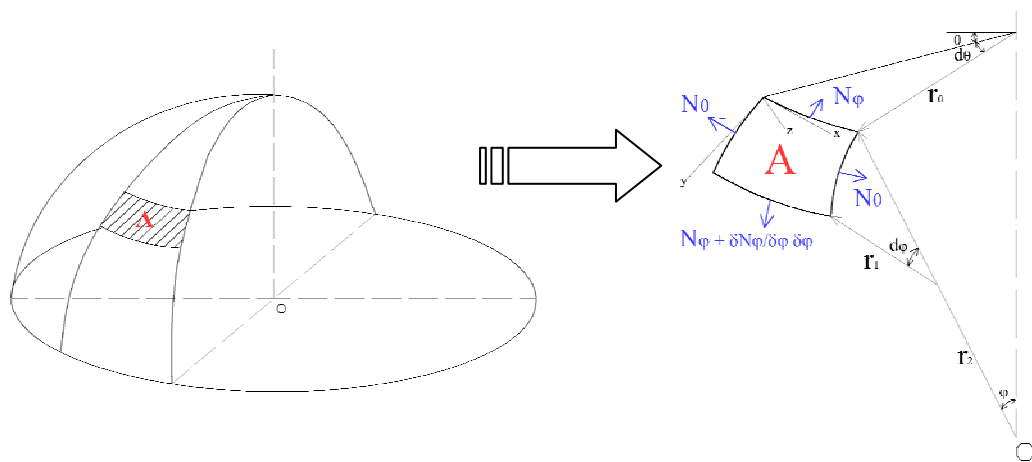
### 2.3.5. Perencanaan Struktur Atas (*Upper Structure*)

#### 2.3.5.1. Struktur Kubah

Struktur atap yang digunakan dalam perancangan bangunan masjid ini adalah atap *shell* berupa kubah. Dalam perencanaan *shell* sering dipakai teori membran sebagai dasar perhitungan. Adapun syarat-syarat yang berlaku pada teori membran, yaitu :

- Perubahan letak ( *displacement* ) akibat resultanta tegangan tidak menimbulkan moment yang berarti pada *shell*.
- Tebal kubah relatif kecil sekali terhadap jari-jari lengkung *shell*.
- Pembebanan pada bidang *shell* merata dan *smooth* ( tidak berubah secara mendadak ).

- Tepi batas *shell* tidak mengekang terjadinya *displacement* dan dapat menyalurkan resultanta tegangan tepi *shell*.
- Momen pada shell relatif kecil sehingga dapat diabaikan, dan hanya terdapat  $N_\varphi$ ,  $N_\theta$ , dan  $N_{\theta\varphi} = N_{\varphi\theta}$ .
- Atap kubah yang direncanakan berbentuk spherical dome (kubah bulat) sehingga shell terbentuk dari permukaan yang berputar dan mengalami beban yang simetris terhadap sumbunya.



**Gambar 2.2. Gaya yang terjadi pada Cangkang Kubah**

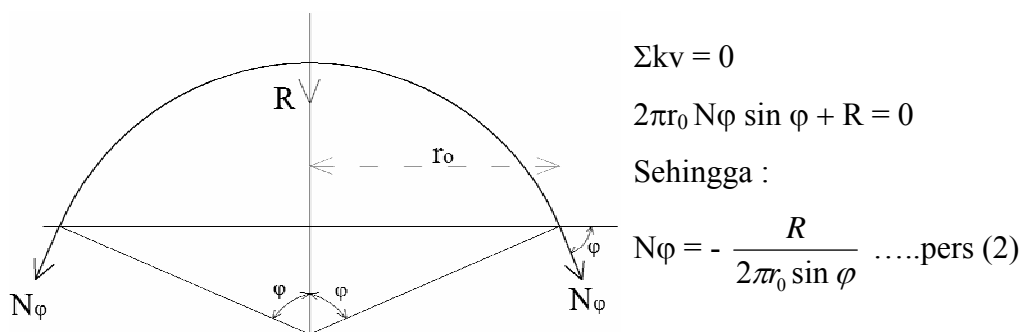
Dari gambar 2.2 dapat diperoleh persamaan dari keseimbangan yang didapat dengan menjumlahkan proyeksi gaya pada arah z yaitu sebagai berikut :

$$N_\varphi r_0 d\theta d\varphi + N_\theta r_1 \sin \varphi d\varphi d\theta + Z r_1 r_0 d\theta d\varphi = 0$$

Persamaan tersebut dibuat menjadi persamaan kesetimbangan orde kedua menjadi

$$N_\varphi r_0 + N_\theta r_1 \sin \varphi + Z r_1 r_0 = 0 \quad \dots \text{pers (1)}$$

Resultan beban total pada bagian cangkang ditandai dengan R seperti pada gambar 2.3, maka persamaan kesetimbangannya adalah :



**Gambar 2.3. Gambar resultan beban total**

Persamaan (1) jika dibagi dengan nilai  $r_1 r_0$ , dengan diketahui nilai  $r_0 = r_2 \sin \varphi$  maka persamaannya akan menjadi :

$$\frac{N_\varphi}{r_1} + \frac{N_\theta}{r_2} = -Z \dots\dots \text{pers (3)}$$

Untuk kubah bulat yang mempunyai berat ( dari beban mati dan beban hidup ) sebesar  $q$ , dengan nilai  $r_0 = a \sin \varphi$  maka dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$R = 2\pi \int_0^\varphi a^2 q \sin \varphi d\varphi = 2\pi a^2 q (1 - \cos \varphi) \dots\dots \text{pers (4)}$$

Mensubstitusikan persamaan (4) ke dalam persamaan (2), maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$N_\varphi = - \frac{aq}{1 + \cos \varphi} \dots\dots \text{pers (5)}$$

Kemudian persamaan (5) disubstitusikan ke persamaan (3), dimana  $Z = q \cos \varphi$  dan  $r_1 = r_2 = a$ , sehingga diperoleh persamaan :

$$N_\theta = aq \left( \frac{1}{1 + \cos \varphi} - \cos \varphi \right)$$

Agar dapat menampung komponen tegangan yang bekerja pada ujung bawah shell maka tepi bawah diberi balok ring ( balok tarik ). Komponen vertikal

dapat disalurkan melalui pendukung dinding atau tiang, sedangkan komponen horisontal dapat ditampung oleh balok ring yang merupakan gaya tarik aksialnya. Gaya tarik pada balok ring dapat dituliskan sebagai berikut :

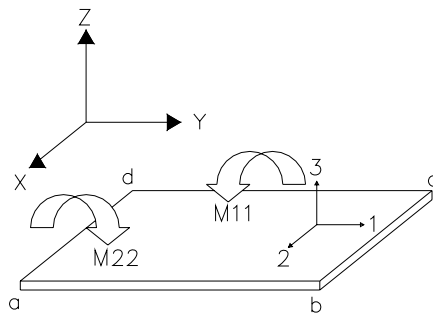
$$T = r_0 H$$

Dimana :  $r_0$  = jari-jari balok ring

$$H = N \varphi \cos \varphi$$

### 2.3.5.2. Pelat Lantai

Pelat merupakan struktur bidang yang datar (tidak melengkung) yang jika ditinjau secara tiga dimensi mempunyai tebal yang jauh lebih kecil daripada ukuran bidang pelat. Dimensi bidang pelat  $L_x$  dan  $L_y$  dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.4. Arah sumbu lokal dan sumbu global pada elemen pelat

Langkah-langkah perencanaan pelat adalah sebagai berikut :

1. Menentukan syarat-syarat batas, tumpuan dan panjang bentang.
2. Menentukan tebal pelat. Berdasarkan RSNI 2002 maka tebal ditentukan berdasarkan ketentuan sebagai berikut :

$$h \geq \frac{\ln \left[ 0.8 \frac{f_y}{1500} \right]}{36 + 9\beta}$$

Dimana :  $\beta = L_y / L_x$

$L_n$  = panjang bersih plat

3. Memperhitungkan beban-beban yang bekerja pada pelat lantai.

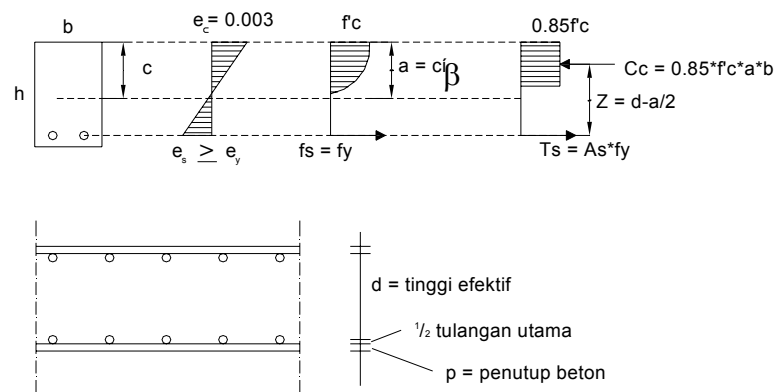
4. Tentukan  $L_y / L_x$
5. Tentukan momen yang menentukan ( $M_u$ ) (sesuai rumus dalam tabel CUR) yang terdiri dari :
  - $M_{lx}$  (momen lapangan arah – X)
  - $M_{ly}$  (momen lapangan arah – Y)
  - $M_{tx}$  (momen tumpuan arah – X)
  - $M_{ty}$  (momen tumpuan arah – Y)
  - $M_{tix} = 0.5 M_{lx}$  (momen jepit tak terduga arah – X)
  - $M_{tiy} = 0.5 M_{ly}$  (momen jepit tak terduga arah – Y)
6. Hitung Penulangan (Arah – X & Arah – Y)

Data-data yang diperlukan :

- Tebal plat ( $h$ )
- Tebal selimut beton ( $P$ )
- Momen ( $M_u$ )
- Diameter tulangan ( $\phi_D$ )
- Tinggi efektif ( $d_x$  dan  $d_y$ ), dimana :  $d_x = h - P - 0.5\phi_{tul}$

$$d_y = h - P - 0.5\phi_{tul} - \phi_{tul}$$

Perencanaan Perhitungan Batas Rasio Penulangan:



**Gambar 2.5. Diagram Regangan – Tegangan Plat**

Dari gambar didapat :

$$C_c = 0,85 f'c.a.b$$

$$T_s = A_s.f_y$$

Dengan keseimbangan  $\Sigma H = 0$ , maka :

$$C_c = T_s$$

$$\text{Sehingga } 0,85 f'c.a.b = A_s.f_y$$

Disini  $a = \beta_1.c$  dan

Untuk  $f'c \leq 30 \text{ MPa}$  (  $300 \text{ kg/cm}^2$  ) berlaku  $\beta_1 = 0,85$

$A_s = \rho.b.d \rightarrow \rho = \text{rasio tulangan}$

Selanjutnya untuk  $f'c \leq 30 \text{ MPa}$  akan didapatkan  $0,85 \beta_1 b.c.f'c = \rho.b.d.f_y$

Dari diagram regangan pada saat baja leleh didapati :

$$\frac{c}{d} = \frac{\epsilon'_{cu}}{\epsilon'_{cu} + \epsilon_y} = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{200000}}$$

$$c = \left( \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{200000}} \right) d$$

sehingga dengan memasukkan nilai  $c$  dari persamaan diatas ke persamaan dibawah ini :

$$0,85. \beta_1. b.c.f'c = \rho.b.d.f_y$$

$$\text{maka didapatkan } \rho_{\text{balance}} = \left( \frac{600}{(600 + f_y)} \right) \left( \frac{0,85 f'c}{f_y} \right)$$

berdasar SK SNI T-15-1991-03 :

- Rasio pembesian minimum menggunakan rumus :

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y}$$

- Rasio pembesian maksimum menggunakan rumus :

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times \left( \frac{600}{(600 + f_y)} \right) \left( \frac{0,85 f'c}{f_y} \right)$$

Perencanaan Perhitungan Rasio Penulangan yang dipakai:

$$a = \beta * c$$

$$\text{Maka } \Rightarrow 0.85 * f'c * \beta * c * b = A_s * f_y$$

$$0.7225 * f'c * c * b = \rho * b * d * f_y$$

$$c = 1.384 * \rho * \frac{f_y}{f'c} * d$$

Untuk  $\Phi = 0.8$  dan dengan kesetimbangan momen  $\sum M = 0$ , maka :

$$\begin{aligned} Mu &= A_s * 0.8 * f_y * (d - 0.5 * a) \\ &= A_s * 0.8 * f_y * (d - 0.5 * 0.85 * c) \\ &= 0.8 * A_s * f_y * (d - 0.425 * c) \\ &= 0.8 * \rho * b * d * f_y * (d - 0.425 * c) \\ &= 0.8 * \rho * b * d * f_y * \left( d - 0.425 * 1.3841 * \rho * \frac{f_y}{f'c} * d \right) \end{aligned}$$

$$\frac{Mu}{b * d^2} = 0.8 * \rho * f_y * \left( 1 - 0.588 * \rho * \frac{f_y}{f'c} \right) \dots \text{pers rasio pembesian } \rho$$

Dimana  $\frac{Mu}{b * d^2}$  dalam satuan Mpa ( $1 \text{ KN/mm}^2 = 10^{-3} \text{ Mpa}$ )

Persamaan rasio pembesian  $\rho$  diselesaikan dengan rumus persamaan akar kuadrat dari  $a\rho^2 + b\rho + c = 0$

$$\text{Dengan akar-akar } \rho_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 * a * c}}{2 * a}$$

Nilai yang diambil adalah nilai  $\rho_1$  dan atau  $\rho_2$  yang berharga positif

### 2.3.5.3. Balok

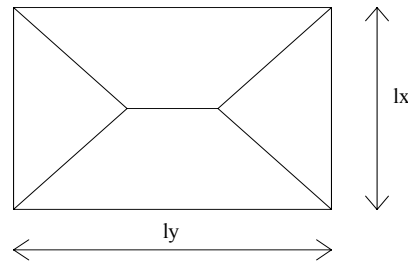
Dalam pra desain tinggi balok menurut SKSNI T-15 1991-03 merupakan fungsi dari bentang dan mutu baja yang digunakan. Secara umum pra desain tinggi balok direncanakan  $L/10 - L/15$ , dan lebar balok diambil  $1/2 H - 2/3 H$  dimana H adalah tinggi balok.

Pada perencanaan balok ini, pelat dihitung sebagai beban dimana pendistribusian gayanya menggunakan metode amplop. Dalam metode ini terdapat 2 macam bentuk yaitu pelat sebagai beban segi tiga dan pelat sebagai

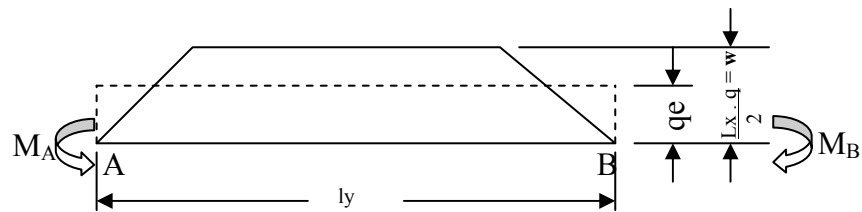


beban trapesium. Adapun macam – macam perataan bebannya berdasar banyaknya tumpuan dan panjang sisi – sisi plat adalah sebagai berikut:

➤ **Perataan Beban dengan 4 tumpuan ( tipe 1 )**



▪ **Perataan Beban Trapesium**



$$\begin{aligned}
 R_A = R_B &= -\frac{1}{4} * W * L_x + \frac{1}{2} * W * L_y \\
 &= -\frac{1}{4} * \left( \frac{1}{2} * q * L_x \right) * L_x + \frac{1}{2} * \left( \frac{1}{2} * q * L_x \right) * L_y \\
 &= \frac{1}{8} * q * L_x (2L_y - L_x)
 \end{aligned}$$

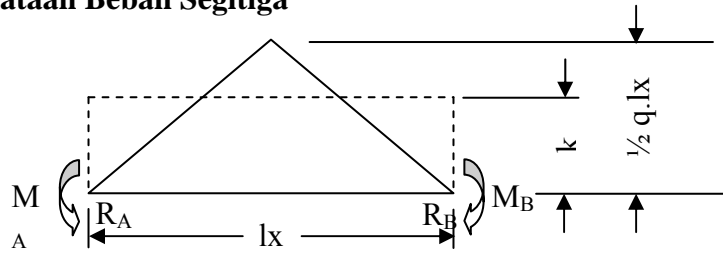
$$\begin{aligned}
 M_{\max \text{ trap } x} &= R_A \left( \frac{1}{2} L_y \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} q * L_x \right) \frac{1}{2} L_x \left\{ \frac{1}{6} L_x + \frac{1}{2} L_y - \frac{1}{2} L_y \right\} \\
 &\quad - \left( \frac{1}{2} q * L_x \right) \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{2} L_y - \frac{1}{2} L_x \right\}^2 \\
 &= \frac{1}{16} q * L_x \left( L_y^2 - \frac{1}{3} L_x^2 \right)
 \end{aligned}$$

$$M_{\max \text{ beban merata}} = \frac{1}{8} q_e * L_y^2$$

Jadi  $M_{\max \text{ trap}} = M_{\max \text{ segiempat}}$

$$\boxed{Q_e = \frac{1}{2} \frac{q * L_x \left( L_y^2 - \frac{1}{3} L_x^2 \right)}{L_y^2}}$$

▪ **Perataan Beban Segitiga**



$$R_A = R_B = \frac{1}{2} Lx * \frac{1}{2} q * Lx * \frac{1}{2}$$

$$= \frac{1}{8} q * Lx^2$$

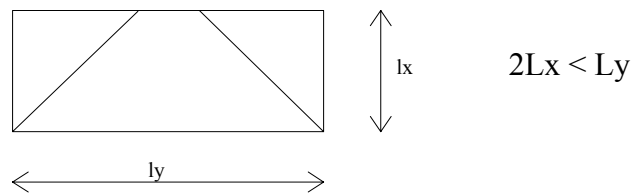
$$M_{\text{maks segitiga}} = \frac{1}{24} q_e * Lx^3$$

$$M_{\text{maks segitiga}} = M_{\text{segiempat maksimum}}$$

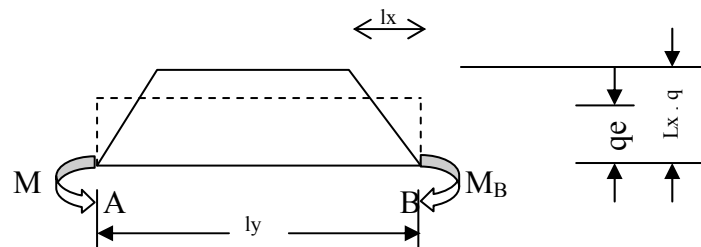
$$\frac{1}{8} q * Lx^2 = \frac{q_e * Lx^3}{24}$$

$$Q_e = \frac{1}{3} q * Lx$$

➤ **Perataan beban dengan 3 tumpuan (tipe 2)**



▪ **Perataan Beban Trapesium**



$$R_a = R_b = \frac{1}{2} (q \cdot Lx) Ly - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} (q Lx) q Lx$$

$$= \frac{1}{2} q Lx (Ly - Lx)$$

$M_{\max \text{ trap}}$  (tengah bentang)

$$\begin{aligned}
 &= Ra \cdot \frac{1}{2} \cdot Ly - \frac{1}{2} \cdot qLx \cdot Lx \left( \frac{1}{2} Ly - \frac{2}{3} Lx \right) - \frac{1}{2} qLx \left( \frac{1}{2} Ly - Lx \right)^2 \\
 &= \frac{1}{4} qLx \cdot Ly^2 - \frac{1}{4} qLx^2 \cdot Ly - \frac{1}{4} qLx^2 \cdot Ly + \frac{1}{3} qLx^3 - \frac{1}{8} qLx \cdot Ly^2 + \frac{1}{2} qLx^2 Ly - \frac{1}{2} qLx^3 \\
 &= \frac{1}{8} qLx \cdot Ly^2 - \frac{1}{6} qLx^3 \\
 &= \frac{1}{2} qLx \left( \frac{1}{4} Ly^2 - \frac{1}{3} Lx^2 \right)
 \end{aligned}$$

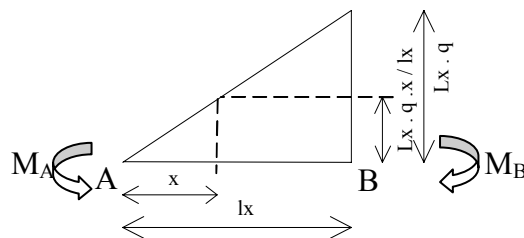
$$M_{\max \text{ beban merata}} \text{ (tengah bentang)} = \frac{1}{8} qe \cdot Ly^2$$

$$M_{\max \text{ trap}} = M_{\max \text{ beban merata}}$$

$$\frac{1}{2} qLx \left( \frac{1}{4} Ly^2 - \frac{1}{3} Lx^2 \right) = \frac{1}{8} qe \cdot Ly^2$$

$$qe = 4q \frac{Lx}{Ly^2} \left( \frac{1}{4} Ly^2 - \frac{1}{3} Lx^2 \right)$$

▪ **Perataan Beban Segitiga**



$$Ra = \frac{1}{2} qLx \cdot Lx \cdot \frac{1}{3} = \frac{1}{6} qLx^2$$

$$Rb = \frac{1}{2} qLx \cdot Lx \cdot \frac{2}{3} = \frac{1}{3} qLx^2$$

$$\begin{aligned}
 Mx &= Rax - \frac{1}{2} \left( q \frac{Lx}{Ly} \cdot x \right) x \cdot \frac{x}{3} \\
 &= \frac{1}{6} qLx^2 x - \frac{1}{6} qx^3
 \end{aligned}$$

$$\frac{\partial M_x}{\partial x} = \frac{1}{6}qLx - \frac{1}{2}qx^2 = 0$$

$$x^2 = \frac{1}{3}Lx$$

$$x = \frac{1}{3}Lx\sqrt{3} \rightarrow \max$$

$$M_{\max \text{ segitiga}} (x = \frac{1}{3}Lx\sqrt{3})$$

$$= \frac{1}{6}qLx^2 \cdot \frac{1}{3}Lx\sqrt{3} - \frac{1}{6}q \left( \frac{1}{3}Lx\sqrt{3} \right)^3$$

$$= \frac{1}{18}qLx^3\sqrt{3} - \frac{1}{162}qLx^3 \cdot 3^{3/2}$$

$$= 0.064qLx^3$$

$$M_{\max \text{ beban merata}} \left( \frac{1}{3}Lx\sqrt{3} \right)$$

$$= \frac{1}{2}qe \cdot Lx \left( \frac{1}{3}Lx\sqrt{3} \right) - \frac{1}{2}qe \left( \frac{1}{3}Lx\sqrt{3} \right)^2$$

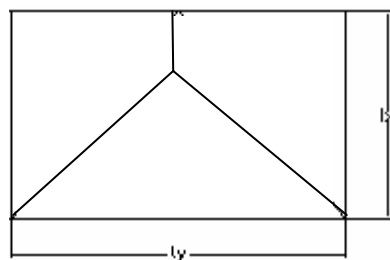
$$= \frac{1}{6}qe \cdot Lx^2\sqrt{3} - \frac{1}{6}qe \cdot Lx^2$$

$$= 0.122qe \cdot Lx^2$$

$$\Leftrightarrow 0.122qe \cdot Lx^2 = 0.064qLx^3$$

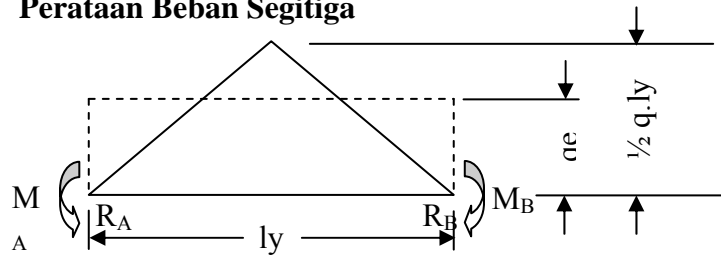
$$qe = 0.52455 qLx$$

➤ **Perataan beban dengan 3 tumpuan (tipe 3)**



$$2Lx > Ly$$

▪ **Perataan Beban Segitiga**



$$R_a = R_b = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} qLy \right) Ly$$

$$= \frac{1}{8} qLy^2$$

$M_{\max}$  segitiga (tengah bentang)

$$= R_a \cdot \frac{1}{2} Ly - \left( \frac{1}{2} qLy \right) \cdot \left( \frac{1}{2} Ly \right) \left( \frac{1}{2} Ly \cdot \frac{1}{3} \right)$$

$$= \frac{1}{16} qLy^3 - \frac{1}{48} qLy^3$$

$$= \frac{1}{24} qLy^3$$

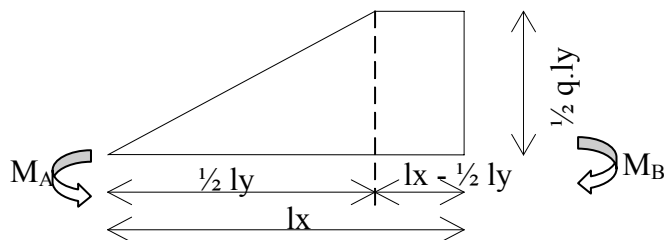
$$M_{\max} \text{ beban merata (tengah bentang)} = \frac{1}{8} qe \cdot Ly^2$$

$M_{\max} \text{ segitiga} = M_{\max} \text{ beban merata}$

$$\frac{1}{24} qLy^3 = \frac{1}{8} qe \cdot Ly^2$$

$$qe = \frac{1}{3} qLy$$

▪ **Perataan Beban Trapesium**



$$\sum Mb = 0$$

$$RaLx - \left(\frac{1}{2}Ly\right)\left(\frac{1}{2}qLy\right)\frac{1}{2}\left(Lx - \frac{2}{3}\cdot\frac{1}{2}Ly\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}qLy\right)\left(Lx - \frac{1}{2}Ly\right)^2 = 0$$

$$\Leftrightarrow Ra..Lx = \frac{1}{8}qLy^2Lx - \frac{1}{24}qLy^3 + \frac{1}{4}qLy.Lx^2 - \frac{1}{4}qLy^2.Lx + \frac{1}{16}Ly^3$$

$$\Leftrightarrow Ra..Lx = \frac{1}{48}qLy^3 - \frac{1}{8}qLy^2Lx + \frac{1}{4}qLy.Lx^2$$

$$\Leftrightarrow Ra = \frac{1}{48}q.Ly^3/Lx - \frac{1}{8}qLy^2 + \frac{1}{4}qLy.Lx$$

$$\Leftrightarrow Ra = \frac{1}{4}qLy\left(\frac{1}{12}Ly^2/Lx - \frac{1}{2}Ly + Lx\right)$$

$$0 \leq x \leq \frac{1}{2}Ly$$

$$Mx = Ra..x - \frac{1}{6}\left(\frac{1}{2}qLy\right) \frac{x^3}{\frac{1}{2}Ly}$$

$$\frac{\partial Mx}{\partial x} = Ra - \frac{1}{2}qx^2 = 0$$

$$x = \sqrt{2Ra/q}$$

Untuk mempermudah perhitungan, Ly Diambil Sebesar 1.25 m ( panjang yang akan digunakan pada penyebaran balok Balkon ) sehingga x = 0.7187

$M_{\max}$  beban merata

$$= \frac{1}{2}qe \cdot 1.25(0.7187) - \frac{1}{2}qe(0.7187)^2$$

$$= 0.1909qe$$

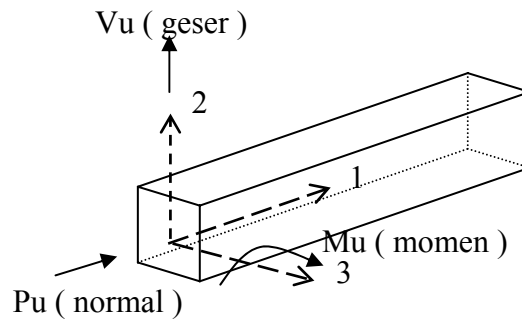
$$\Leftrightarrow 0.1909qe = 0.1238q$$

Jadi besarnya perataan beban dengan Ly = 1.25 m adalah :

$qe = 0.6484 q$
-----------------

Perhitungan penulangan balok pada sistem struktur beton ini menggunakan program SAP2000 dan perhitungan manual.

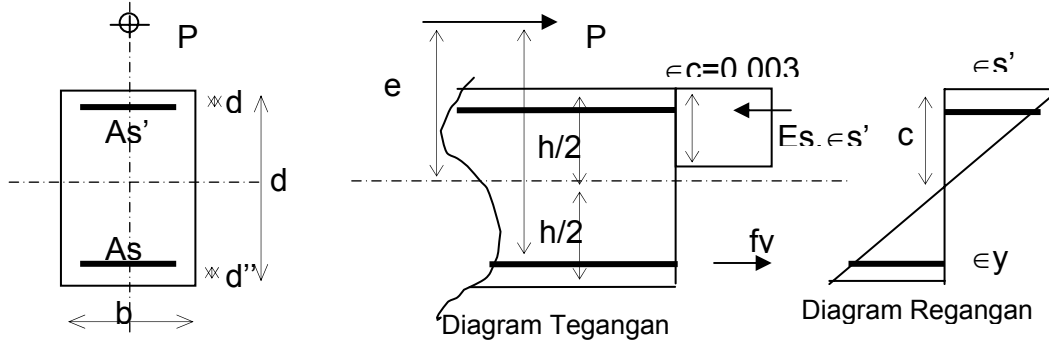
Pengaruh dari momen torsi, momen lentur serta gaya lintang yang bekerja pada arah yang lain dari elemen balok, perlu dilakukan perhitungan secara terpisah.



**Gambar 2.6. Gaya-gaya pada elemen balok**

Prosedur desain elemen-elemen balok dari struktur dengan SAP2000 terdiri dari beberapa tinjauan yaitu sebagai berikut :

→ AKIBAT PENGARUH MOMEN LENTUR DAN GAYA AKSIAL EKSENTRIS



**Gambar 2.7. Diagram Tegangan Regangan Penampang Balok Tertekan Eksentris Keadaan *Balanced***

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

$$e_a = M_n / P_n$$

$$c_b = 600 \cdot d / (f_y + 600)$$

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

$$a = N_n / (0,85 \cdot f'_c \cdot b)$$

$$a_b = 0,85 \cdot c_b$$

$$e = e_a + \frac{1}{2} h - d'$$

□ Penampang dengan tulangan tidak simetris.

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

Gunakan  $a = ab$

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

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

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

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

Periksa letak tulangan tekan :

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

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

Maka  $a = 0,8 \cdot d$

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

$A_s$  tidak perlu dihitung

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

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

$$P = R_l \cdot b \cdot a + f_y \cdot A_s' + f_y \cdot A_s \rightarrow a=d$$

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

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

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

□ Penampang tulangan simetris

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

- ◆ Jika  $a < ab$

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

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

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

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

$$A_s = A_s' = [P \cdot e - F_b \cdot b \cdot d^2 \cdot R_l \cdot (1 - F_b/2)] / [f_y \cdot (d - d')]$$

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

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 :  $8\% \geq (A_s / A_g) \geq 1\%$ .

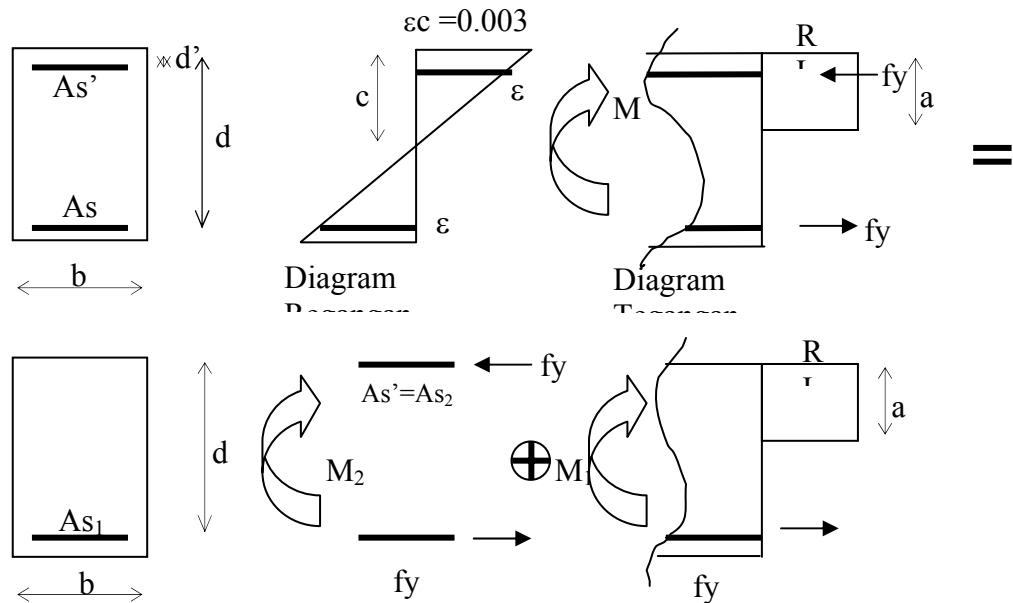


Checking Tulangan Balok :

$$\rho_{\max} = \beta_1 \cdot [ 450 / ( 600 + f_y ) ] \cdot ( R_l \cdot f_y ) ; \rho_{\min} = 1,4 / f_y$$

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

→ AKIBAT PENGARUH MOMEN LENTUR



**Gambar 2.8. Diagram Tegangan-Regangan Penampang Balok Dengan Tulangan Dobel**

Checking bagian beton tertekan :

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

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

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

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

$$M = M_1 + M_2$$

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 (  $A_s_2$  )

$$M_1 = R_l \cdot b \cdot a ( d - a/2 ) = A_{s1} \cdot f_y \cdot ( d - a/2 ) \text{ atau}$$

$$M_1 = K \cdot b \cdot d^2 \cdot R_l$$

$$A_{s2} = A_s - A_{s1} = A_{s'}$$

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

$$= A_{s'} \cdot f_y \cdot (d - d')$$

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

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  $A_{s'}$ .

$$M_1 = K_{max} \cdot b \cdot d^2 \cdot R_l$$

$$M_2 = M - M_1$$

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

$$A_{s1} = F_{max} \cdot b \cdot d \cdot R_l / f_y$$

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

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 :

$$M_2 = A_{s'} \cdot f_y \cdot (d - d')$$

Tetapi perlu diperiksa apakah  $A_{s'}$  perlu diperhitungkan.

$$M_1 = M - M_2$$

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

$$K = M_1 / ( b \cdot d^2 \cdot R_l )$$

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

$$A_{s1} = F \cdot b \cdot d \cdot R_l / f_y$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s'}$$

*Checking* Tulangan Balok :

- $\rho = \frac{(A_s \text{ terpasang} - A_{s2})}{b \cdot d} < \rho_{max}$
- $(d' / d) \leq (d' / d)_{max}$

$$(d' / d) \max = (6000 - f_y) / (6000 + f_y)$$

- $\rho < (Rl / f_y) \cdot (d' / d) \cdot \beta_1 \cdot (6000 / (6000 - f_y))$   
 → tulangan tarik & tekan telah leleh, karena momen kapasitasnya telah terlampaui.
- $\rho > (Rl / f_y) \cdot (d' / d) \cdot \beta_1 \cdot (6000 / (6000 - f_y))$   
 → tulangan tarik & tekan belum leleh, karena momen kapasitasnya tidak terlampaui.

→ Dasar Perhitungan Tulangan Geser Balok :

Besarnya gaya geser rencana balok dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$V_{u,b} = 0,7 \cdot \phi_0 \cdot [ (M_{nak,b} + M_{nak,b'}) / l_n ] + 1,05 V_g$  , tetapi gaya geser maximum balok tidak perlu lebih dari :

$$V_{u,b} = 1,05 ( V_{D,b} + V_{L,b} \pm \frac{4,0}{K} V_{E,b} ) \quad \text{dimana :}$$

$\phi_0$  = faktor penambahan kekuatan = 1.25 untuk  $f_y < 400$  MPa

$V_g$  = gaya geser akibat beban gravitasi

$l_n$  = panjang bentang bersih balok

$M_{nak,b}$  = momen nominal/leleh balok pada ujung komponen

$M_{nak,b'}$  = momen nominal/leleh balok pada bidang muka disebelahnya

$V_{u,b}$  = gaya geser rencana balok

$V_{D,b}$  = gaya geser balok akibat beban mati

$V_{L,b}$  = gaya geser balok akibat beban hidup

$V_{E,b}$  = gaya geser balok akibat beban gempa

$K$  = faktor jenis struktur ( $K > 1,0$ )

*Pasal 3.4.1.1. SKSNI T-15-1991-03* menetapkan bahwa gaya geser yang bekerja pada penampang yang ditinjau harus direncanakan, sehingga :

$$V_u \leq \phi \cdot V_n$$

dimana :

$V_u$  = gaya lintang yang terjadi pada penampang yang ditinjau  
 $= 1,2 V_D + 1,6 V_L$

$V_n$  = kekuatan geser nominal yang dihitung secara :

$$V_n = V_c + V_s$$

$V_c$  = 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.

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

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

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

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

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

Checking penampang :

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

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

$V_s < \phi V_s \text{ max} \dots\dots\dots$ OK! (penampang mencukupi)

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

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

$s < d/2$  , dengan  $s$  = jarak antar tulangan geser (mm)

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

$$s = \frac{A_v \cdot d \cdot f_y}{V_n - V_c}$$

dengan  $A_v$  = luas penampang 2 kaki tulangan geser ( $\text{mm}^2$ )

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 :

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

$\rightarrow$  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 :

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

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

→ Dasar Perhitungan Tulangan Kombinasi Geser Lentur & 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 :

$$T_u \leq \phi T_n, \text{ dengan}$$

$T_u$  = momen torsi berfaktor pada penampang yang ditinjau

$T_n$  = kuat momen torsi nominal yang dihitung dengan

$$T_n = T_c + T_s, \text{ dimana}$$

$T_c$  = kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh beton

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

$\phi$  = 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 :

$$T_u = \frac{\phi (\sqrt{f_c'} / 3 \cdot \sum (x^2 \cdot y))}{\sqrt{1 + [(0,4 \cdot V_u) / (C_t \cdot T_u)]^2}}$$

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

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

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

$$T_u = \frac{(\sqrt{f_c'} / 15 \cdot \sum (x^2 \cdot y))}{\sqrt{1 + [(0,4 \cdot V_u) / (C_t \cdot T_u)]^2}}$$

- Jika  $Tu / \phi < Tc$  maka penulangan torsi minimum,  $s$  yang terkecil dari  $(x_1 + y_1) / 4$  atau 30 cm atau  $d / 2$ .

$$V_c = \frac{(\sqrt{f_c} / 6) . bw . d}{\sqrt{(1 + (Tu / Vu)^2 / (Ct / 0,4)^2)}}$$

Hitung geser lentur dan  $A_v$  (lihat bab geser lentur).

$$\text{Luas penampang kedua kaki sengkang} = A_v + 2 . A_t$$

$$\text{Batasannya : } 4 . 0,34 . bw . (s / f_y) > (A_v + 2 . A_t) \geq 0,34 . bw . (s / f_y)$$

Luas penampang total tulangan memanjang puntir :

$$A_l = 2 . A_t . (x_1 + y_1) / s$$

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

$$T_s = (Tu / \phi - T_c) \leq 4 . Tu$$

$$V_c = \frac{(\sqrt{f_c} / 6) . bw . d}{\sqrt{(1 + (Tu / Vu)^2 / (Ct / 0,4)^2)}}$$

$s$  yang terkecil dari  $(x_1 . y_1) / 4$  atau 30 cm atau  $d / 2$ .

$$\alpha_T = 0,66 + 0,33 . y_1 / x_1 \leq 1,5$$

$$A_t = \frac{(Tu / \phi - T_c) . s}{\alpha_1 . x_1 . y_1 . f_y}$$

$$\text{Luas penampang sebuah kaki sengkang} = (A_v + 2 . A_t) / 2$$

Luas penampang tulangan memanjang puntir total :

$$A = 2 . A_t (x_1 + y_1) / 2 \text{ atau}$$

$$A_l = ((2,8 . x . s) / f_y) (Tu / (Tu + (Vu / (3 . Ct)) - 2 . A_t)) (x_1 + y_1) / 5$$

$$2 . A_t > 0,34 . bw . (s / f_y)$$

Periksa pula penulangan minimum dan jarak sengkang .

### 2.3.5.3. Kolom

Kolom merupakan elemen tekan, karena disamping memikul gaya tekan juga memikul momen lentur dalam dua arah (*biaxial bending*). Dengan adanya gaya tekan ini maka timbul fenomena tekuk (*buckling*) yang harus ditinjau pada kolom, terutama terjadi pada kolom panjang. Apabila kolom tersebut telah menekuk maka kolom tersebut tidak mempunyai kemampuan lagi untuk

menerima beban tambahan. Sedikit saja penambahan beban akan terjadi keruntuhan. Dengan demikian kapasitas memikul beban untuk elemen kolom ini adalah besar beban yang menyebabkan elemen tersebut mengalami tekuk awal.

Kolom juga harus ditinjau terhadap kemungkinan adanya beban eksentris. Pembebanan pada kolom dibedakan menjadi dua kondisi yaitu beban terpusat dan beban eksentris. Umumnya beban pada kolom termasuk beban eksentris dan sangat jarang beban kolom yang tepat terpusat. Pada beban eksentris pusat beban tidak berada tepat di pusat titik berat penampang, tetapi terdapat eksentrisitas jarak sebesar “e” dari pusat beban ke pusat penampang. Adanya eksentrisitas ini harus diperhitungkan karena menimbulkan momen.

Untuk mencari besarnya momen rencana kolom dapat dilihat dari besarnya momen hasil perhitungan mekanika dengan program SAP 2000 dan dari perhitungan momen aktual balok.

Perhitungan penulangan kolom dan struktur beton ini menggunakan program SAP 2000. Prosedur desain elemen-elemen kolom dari struktur dengan SAP 2000 terdiri dua tahap sebagai berikut :

Perhitungan tulangan lentur kolom :

Analisis penampang yang ditinjau mengalami tekanan axial dan pelenturan dua arah ( Biaxial Bending ).

Dalam buku *Mengitung Beton Bertulang berdasar ACI, SNI oleh Ir. Udiyanto*, prosedur perhitungan penulangan kolom apabila diketahui Pn, Mnx, Mny, fc', fy ialah :

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} \quad M_{nx} = \frac{M_{ux}}{\phi} \quad M_{ny} = \frac{M_{uy}}{\phi}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{M_{nx}}{M_{ny}} \quad M_n = M_{nx} + M_{ny} \cdot h / b \cdot (1 - \beta) / \beta$$

$$e_a = M_n / P_n$$

$$\text{Untuk keadaan } balance = c_b = \frac{e_c \cdot d}{e_c + e_y} = \frac{600 \cdot d}{600 + e_y}$$

Untuk tulangan simetris :

$$P_b = 0,85 f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot c_b$$

Jika  $P_b = P_n$ , maka diperoleh harga  $b \cdot d = A_g$

Dari perbandingan  $h / b$ , maka diperoleh harga  $b$  &  $h$ .

$$\text{syarat : } \frac{P}{(0,85 \cdot f_c \cdot b)} < 0,85 \cdot c_b$$

$$e = e_a + (h / 2) - d''$$

$$A_s = A_s' = P \cdot \frac{\{e + d + [P / (2 \cdot R_l \cdot b)]\}}{F_y \cdot (d - d'')}$$

Jika  $A_{stot} / A_g < 1 \%$ , maka  $A_{stot} = 1 \% \cdot A_g$

*Dimana  $A_{stot} = A_s + A_s'$  ( tulangan simetris )*

Sedangkan prosedur perhitungan penulangan kolom apabila diketahui  $P_u$ ,  $M_{ux}$ ,  $M_{uy}$ ,  $b$ ,  $h$ ,  $f_c'$ ,  $f_y$  sesuai buku *Mengitung Beton Bertulang menurut ACI / SNI oleh Ir. Udiyanto* adalah sebagai berikut :

1.  $P_u = P_{ux} = P_{uy}$

$P_u = P$  yang diterima kolom

$P_{ux} = P$  akibat portal searah sumbu x

$P_{uy} = P$  akibat portal searah sumbu y

2. Eksentrisitas awal ( $e_o > 15 + 0,03 h$ )

$$e_{ox} = M_{ux} / P_{ux} \quad \& \quad e_{oy} = M_{uy} / P_{uy}$$

$M_{ux}$  = momen akibat portal searah sumbu x

$M_{uy}$  = momen akibat portla searah sumbu y

$e_{ox}$  = eksentrisitas awal terhadap sumbu x

$e_{oy}$  = eksentrisitas awal terhadap sumbu y

3.  $G_A = [\Sigma E \cdot I_k \cdot L_k] / [\Sigma E \cdot I_b \cdot L_b]$

$G$  = faktor penahanan di dua ujung batang

$E$  = modulus elastisitas beton ( $4700 \sqrt{f'_c}$ )

$I_k$  = momen inersia kolom

$I_b$  = momen inersia balok

$L_k$  = panjang elemen kolom

$L_b$  = panjang elemen balok

4.  $G_A = G_B$  (faktor penahanan ujung atas dan bawah sama besar)

Hasil di atas digunakan untuk mencari  $K$  (dari nomogram)



5. Mencari jari-jari girasi ( $r$ ) =  $0,3 \cdot h$ , untuk penampang persegi

6. Kelangsingan

$$K = k \cdot Lu / r$$

Syarat :

jika  $K < 22$ , faktor kelangsingan diabaikan

jika  $K > 22$ , faktor kelangsingan diperhitungkan (*magnification moment*)

7.  $P_c = \pi \cdot E \cdot I / (k \cdot Lu)^2$  ;  $P_c = P$  kritis

$C_m = 1$  (portal bergoyang)

$$C_{sx} = C_m / [1 - P_{ux} / (\phi \cdot P_c)] \quad ; \quad C_{sx} \geq 1$$

$$C_{sy} = C_m / [1 - P_{uy} / (\phi \cdot P_c)] \quad ; \quad C_{sy} \geq 1$$

$M_{ux} = M_x \cdot C_{sx}$  ;  $C_{ssx}$  = faktor pembesaran momen searah sumbu x

$M_{uy} = M_y \cdot C_{sy}$  ;  $C_{ssy}$  = faktor pembesaran momen searah sumbu y

8.  $e_a$  ;  $e_{ax} = M_{ux} / P_{ux}$  ;  $e_{ay} = M_{uy} / P_{uy}$

$$e = e_a + \frac{h}{2} - d'' \quad ; \quad e_x = e_{ax} + \frac{h}{2} - d'' \quad ; \quad e_y = e_{ay} + \frac{h}{2} - d''$$

9. 
$$ab = \frac{\beta_1 \cdot 600 \cdot d}{(600 + f_y)}$$

$\beta_1$  = perbandingan blok tegangan terhadap tinggi garis netral

$ab$  = tinggi blok tegangan tekan ekivalen penampang beton dalam keadaan *ballanced*

10.  $a = P / (R_l \cdot b)$  ;  $P = P_u / \phi$

$a$  = tinggi blok tegangan tekan ekivalen penampang beton

jika  $a < ab$  ;  $A_s$  digunakan rumus :

11. 
$$A_s = A_s' = \frac{P \cdot [(e - d) + P / 2 \cdot R_l \cdot B]}{f_y \cdot (d - d')}$$

jika  $A_s = A_s'$  didapatkan hasil negatif digunakan rumus :

12. 
$$A_s = A_s' = \frac{[P \cdot e - Fb \cdot b \cdot d^2 \cdot R_l \cdot (1 - Fb / 2)]}{f_y \cdot (d - d')}$$
$$= \frac{P \cdot e - Kb \cdot R_l \cdot b \cdot d^2}{f_y \cdot (d - d')}$$

jika hasil  $A_s = A_s'$  masih negatif digunakan rumus :

13.  $As_{total} = \frac{P - Rl.Ag}{f_y}$  jika hasil masih negatif digunakan :

( syarat tulangan 1 - 8 % )  $\rightarrow As_{total} = 1 \% \cdot Ag$

jika  $As_{hasil}$  perhitungan  $<$   $As_{minimum}$ , maka gunakan  $As_{minimum}$ .

Tinjauan Lentur Arah-X dan Arah-Y ( *Biaxial Bending* ) :

Prosedur perhitungan apabila diketahui  $b$ ,  $h$ ,  $M_n$ , dan  $P_n$  ialah :

- $b_x = h$  dan  $h_x = b$   
 $b_y = b$  dan  $h_y = h$
- $dx = b - p$  ;  $dy = h - p$
- $ea = M / p$
- $cb_{x/y} = 600 \cdot d_{x/y} / ( 600 + f_y )$  dan  $ab_{x/y} = \beta_1 \cdot cb_{x/y}$
- $Fb_{x/y} = ab_{x/y} / d_{x/y}$
- $Kb_{x/y} = Fb \cdot ( 1 - Fb / 2 )$
- $Mn_{b_{x/y}} = 0,85 \cdot fc' \cdot Kb_{x/y} \cdot b_{x/y} \cdot d_{x/y}^2 + As' \cdot f_y \cdot ( d_{x/y} - d' )$
- $Pn_{b_{x/y}} = 0,85 \cdot fc' \cdot b_{x/y} \cdot ab_{x/y}$
- $eb_{x/y} = Mn_{b_{x/y}} / pn_{b_{x/y}}$
- $e_{x/y} = ea + h_{x/y} / 2 - d'' < e_{x/y}$   
 $0,3 d + h / 2 - d'' < e_{x/y}$
- $P_o = 0,85 \cdot fc' \cdot ( ag - Ast ) + f_y \cdot Ast$
- $P_{x/y} = P_o - ( e_{x/y} / eb_{x/y} )^2 \cdot ( P_o - Pn_{b_{x/y}} )$

Tinjauan *Biaxial Bending* :

□  $\frac{1}{P_i} = \frac{1}{P_x} + \frac{1}{P_y} - \frac{1}{P_o}$  ; syarat :  $P_i > P$

□ *Keterangan :*

$b$  = lebar penampang ;  $h$  = tinggi penampang ;  $d$  = tinggi efektif penampang

$cb_{x/y}$  = tinggi blok tegangan tekan penampang beton dalam keadaan *ballanced*

$ab_{x/y}$  = tinggi blok tegangan tekan ekivalen penampang beton dalam keadaan *ballanced*.

$P_I$  =  $P$  total yang diterima kolom

$P_{x/y}$  =  $P$  akibat portal searah sumbu  $x$  / sumbu  $y$

$Mn_{b_{x/y}}$  = momen akibat portal searah sumbu  $x$  / sumbu  $y$

$ea_{x/y}$  = eksentrisitas awal terhadap sumbu x / sumbu y

$eb_{x/y}$  = eksentrisitas akhir terhadap sumbu x / sumbu y

Perhitungan tulangan geser kolom :

Data –data masukan untuk perhitungan :  $f'c$ ,  $f_y$ ,  $bw$ ,  $h$ ,  $d$ ,  $V_{u,k}$  ,  $N_{u,k}$ .

Prosedur Perhitungannya adalah sebagai berikut :

- $V_n = V_u / \phi$
- $V_c = 0,17 (1 + 0,073 \cdot N_u / A_g) \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d < 0,3 \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d [1 + 0,3 \cdot (N_u / A_g)]^{1/2}$
- $(V_n - V_c) \geq 2/3 \cdot \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d$ , maka ukuran penampang harus diperbesar.
- $(V_n - V_c) < 2/3 \cdot \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d$ , maka ukuran penampang mencukupi.
- Syarat perlu tulangan geser :  $V_u > \phi \cdot V_c$  (prosedur analog dengan tulangan geser pada balok)

jika  $V_u < \phi \cdot V_c$ , maka digunakan tulangan geser minimum.

- Tulangan geser minimum :

$$A_v = bw \cdot s / 3 \cdot f_y$$

$$s = A_v \cdot 3 \cdot f_y / bw ; s < d/2$$

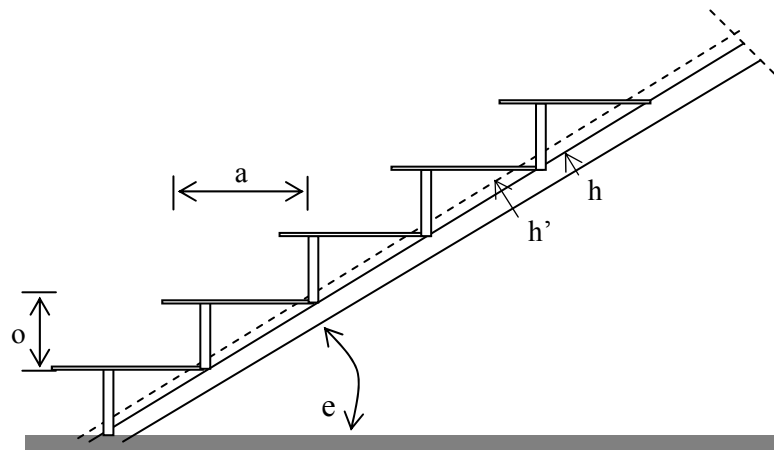
$A_v$  = jumlah luas penampang kedua kaki sengkang ( $mm^2$ )

#### 2.3.5.4. 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.

Perencanaan tangga harus memenuhi syarat-syarat: (*Ir. Supriyono*)

1. Tangga dengan ukuran lebar minimal 1,10 m dapat dinaiki 1 orang.
2. Tangga dengan ukuran lebar minimal 1,30 m dapat dinaiki oleh 2 orang bersama secara berdampingan.
3. Tangga dengan ukuran lebar minimal 1,90 m dapat dinaiki 3 orang atau lebih.

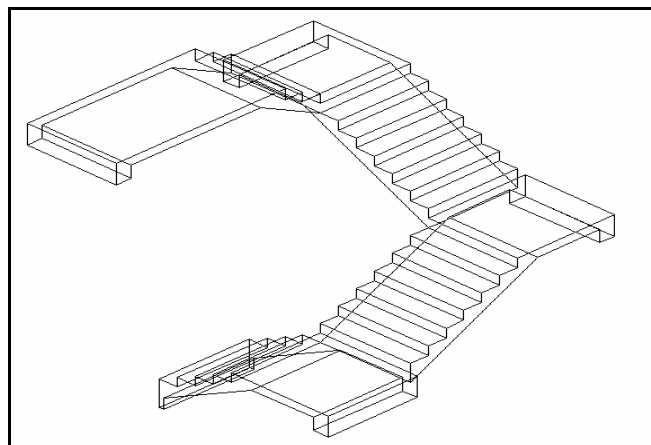


**Gambar 2.9. Pendimensian Tangga**

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

- Tinggi antar lantai
- Tinggi *Optrede*
- Panjang *Antrede*
- Lebar bordes
- Jumlah anak tangga
- Lebar anak tangga
- Kemiringan tangga
- Tebal selimut beton
- Tebal pelat tangga

Permodelan tangga yang direncanakan pada struktur Masjid dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



**Gambar 2.10. Pendimensian Tangga**

Perhitungan gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur tangga seluruhnya dilakukan dengan menggunakan program SAP 2000. Tangga pada struktur ini direncanakan menggantung sehingga untuk perhitungan penulangan plat tangga dan bordes yang digunakan mengikuti prosedur yang sama dengan perhitungan tulangan dengan gaya yang bekerja adalah gaya aksial dan momen lentur.

#### **2.3.6. Perencanaan Struktur Bawah (*Sub Structure*)**

Struktur bawah (*Sub-Structure*) yang berupa pondasi, merupakan struktur yang berfungsi untuk meneruskan beban-beban dari struktur atas ke dalam lapisan tanah. Dalam menentukan jenis pondasi yang sesuai kita perlu mempertimbangkan beberapa hal sebagai berikut :

- Keadaan tanah, seperti parameter tanah, daya dukung tanah, dll.
- Jenis struktur atas (fungsi bangunan)
- Anggaran biaya yang dibutuhkan
- Waktu pelaksanaan yang direncanakan
- Keadaan lingkungan sekitar

##### **2.3.6.1. Parameter Tanah**

Sebelum kita menentukan jenis pondasi yang akan digunakan, terlebih dahulu harus diketahui kondisi tanah tempat bangunan akan didirikan. Untuk keperluan tersebut, maka dilakukan penyelidikan tanah (*soil investigation*). Penyelidikan yang dilakukan terdiri dari penyelidikan lapangan (*field test*) dan penyelidikan laboratorium (*laboratory test*).

Penyelidikan tanah dimaksudkan untuk mengetahui kondisi geoteknik, baik keadaan, jenis dan sifat-sifat yang menjadi parameter dari tanah pondasi rencana. Yang dimaksud dengan kondisi geoteknik adalah :

- Struktur dan penyebaran tanah serta batuan
- Sifat fisis tanah (*soil properties*)
- Sifat teknis tanah / batuan (*engineering properties*)

- Kapasitas dukung tanah terhadap pondasi yang diperbolehkan sesuai dengan tipe pondasi yang akan digunakan.

#### 2.3.6.2. Analisis Daya Dukung Tanah

Perhitungan daya dukung tanah sangat diperlukan guna mengetahui kemampuan tanah sebagai perletakan / pemakaian struktur pondasi. Daya dukung tanah merupakan kemampuan tanah dalam mendukung beban baik berat sendiri struktur pondasi maupun beban struktur atas secara keseluruhan tanpa terjadinya keruntuhan. Nilai daya dukung tersebut dibatasi oleh suatu daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*), yang merupakan keadaan saat mulai terjadi keruntuhan.

Sebelum kita menentukan jenis pondasi yang akan digunakan, kita harus menentukan daya dukung ijin ( $q_u$ ) yang merupakan hasil bagi dari daya dukung batas ( $q_{ult}$ ) dengan *safety factor* ( $SF=3$ ).

$$q_u = \frac{q_{ult}}{FK}$$

#### 2.3.6.3. Perencanaan *semi Basement*

Pada struktur masjid ini terdapat satu buah lantai *semi basement*. Kedalaman lantai *semi basement* adalah  $-2.70$  m. Pada masjid ini lantai *semi basement* berfungsi sebagai pertokoan.

Secara struktural *semi basement* harus mampu menahan semua kemungkinan gaya yang terjadi. Di samping itu *semi basement* juga harus direncanakan sedemikian rupa sehingga berat sendiri seluruh elemen *semi basement* lebih besar dari beban *up lift* dan tekanan tanah.

#### 2.3.6.4. Perencanaan Dinding Penahan Tanah (DPT)

Konstruksi penahan tanah seperti dinding penahan, dinding bangunan bawah tanah (*basement*) dan turap perlu diperhitungkan adanya gaya tekanan tanah. Tekanan tanah ini terdiri dari tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif. Hanya saja di konstruksi DPT untuk *basement* ini hanya ada tekanan tanah aktif.

Ada beberapa macam teori yang dipakai dalam perhitungan tekanan tanah diantaranya teori *Rankine* dan *Coulomb* yang menggunakan metode analitis serta menurut *Poncelet* dan *Culman* yang menggunakan cara grafis. Namun dalam perhitungan *basement* masjid hanya akan digunakan perhitungan dengan cara analitis menurut *Rankine*.

Dasar asumsi dari *Rankine* adalah sebagai berikut :

- Gaya - gaya yang ditinjau dianggap melalui bidang vertikal.
- Sudut tanah isian dengan horizontal dan sudut tekanan aktif dengan normalnya.

Prosedur perhitungannya dapat diuraikan sebagai berikut :

Pelat dinding dibebani merata yang berasal dari beban tanah setinggi 2.70 m dan air naik diperkirakan setinggi 1 meter dari dasar *basement*. Dari data tanah di dapat :

- Berat jenis tanah kering ( $\gamma_d$ )
- Berat volume tanah ( $\gamma = \gamma_{bulk}$ )
- Sudut geser tanah ( $\phi$ )
- Cohesion / Kohesi (c)

Maka dapat dihitung :

- Koefisien tekanan tanah aktif  $K_a = \tan^2 [ 45 - (\phi / 2) ]$
- Berat volume tanah ( $\gamma_{soil}$ )

#### **2.3.6.5. Pemilihan Tipe Pondasi**

Dalam sebuah gedung arti sebuah pondasi sangatlah penting. Pondasi adalah tempat pijakan sebuah gedung dimana beban-beban gedung baik beban mati maupun beban hidup akan masuk sepenuhnya kedalam pondasi. Sehingga kekuatan pondasi mutlak harus diperhitungkan.

Dalam perencanaan pondasi ada beberapa pemilihan tipe pondasi yang digunakan berdasarkan analisa tanahnya, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Adapun pondasi dalam yang digunakan adalah pondasi tiang pancang, bore pile, kaisan dll

Dalam menentukan jenis pondasi apa yang akan dipakai, ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu data tanah (*sondir* dan *boring*), lingkungan tempat dimana bangunan akan didirikan dan yang terakhir adalah efisiensi.

Analisa pemilihan pondasi :

1. Lingkungan

Lingkungan tempat dimana gedung akan dibangun merupakan salah satu parameter yang menentukan jenis pondasi yang akan digunakan. Jika lokasi terletak di tengah kota maka perencanaan gedung dengan menggunakan pondasi tiang pancang sangatlah tidak dianjurkan, karena pemancangan tiang akan menimbulkan polusi udara dan suara. Getaran yang dihasilkan dari pemancangan itu sendiri bisa merusak gedung-gedung sekitarnya.

2. Analisa Tanah

Analisa tanah jugamerupakan parameter yang penting dalam menentukan jenis dari pondasi yang akan digunakan. Jika tanah keras didapatkan pada kedalaman yang dangkal maka pondasi yang bisa digunakan adalah pondasi sumuran atau pondasi dangkal. Tetapi jika tanah keras ditemukan di kedalaman yang dalam, maka perencanaan pondasi akan dilakukan dengan pondasi dalam yaitu tiang pancang, *bore pile* atau kaison.

3. Efisiensi

Apabila setelah analisis tanah dan lingkungan ada beberapa jenis pondasi yang biasa digunakan maka parameter selanjutnya yang digunakan untuk menentukan jenis pondasi adalah efisiensi. Efisiensi yang dimaksud adalah efisiensi baik dari segi biaya maupun dari segi waktu.

#### **2.3.6.6. Perencanaan Pondasi**

Jenis pondasi ini dimaksudkan untuk mendapatkan titik-titik yang pasti dimana jarak antar dua titik terbentang sebuah balok beton. Pada pondasi sumuran letak lapisan berdaya dukung lebih dalam.



Beban pada pondasi berasal dari beban struktur portal utama dan beban dari kolom yang kemudian beban ini disalurkan ke *pile cap* dan diterima pondasi.

Perhitungan pondasi dilakukan dari hasil tes Boring dan tes Sondir, dimana dari kedua tes tersebut diambil nilai  $q_{all}$  yang terkecil. Hasil tes Sondir ditinjau dalam tiga rumus :

1. Mayerhoff

$$P_{ult} = q_c \cdot A_c + f_s \cdot O_c$$

$$P_{all} = P_{ult} / 2,5$$

dimana :

$P_{all}$  = daya dukung tanah ijin (ton)

$q_c$  = nilai conus (kg/cm<sup>2</sup>)

$A_c$  = luas penampang lingkaran =  $\frac{1}{4} \pi d^2$  (cm<sup>2</sup>)

$f_s$  = total friction (kg/cm)

$O_c$  = keliling penampang lingkaran =  $2 \pi R$  (cm)

$q_{all} = P_{all} / A_c$  (kg/ cm<sup>2</sup>)

2. Begemann

$$P_{all} = \frac{(q_c \times A)}{3} + \frac{(T_f \times O_c)}{5}$$

3. Trofimankhoffe

$$P_{all} = \left( \frac{K_b \times q_c \times A_c + (f_s / K_d) \times O_c}{2,5} \right)$$

Dari hasil tes Boring :

$$q = P/A \pm M/W$$

dimana :

A = luas dasar sumuran

W = momen lawan

$$q_{ult} = 1,3 C N_c + \gamma L N_q + 0,6 \gamma R N_\gamma$$

C = Kohesi dari lapisan pendukung

$N_c$  = Faktor daya dukung

$N_q$  = Faktor daya dukung

$N_\gamma$  = Faktor daya dukung

L = Kedalaman bagian sumuran

R = Jari-jari sumuran

### **2.3.7. Dasar Perhitungan dan Pedoman Perencanaan**

Dalam perencanaan pembangunan gedung perkantoran ini, pedoman peraturan serta buku acuan yang digunakan antara lain :

1. Tata Cara Perhitungan Beton Untuk Bangunan Gedung (SK SNI T-15-1991-03)
2. Tata Cara Perhitungan Beton Untuk Bangunan Gedung (RSNI 2002)
3. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk bangunan Gedung (SNI 03 – 1726 – 2002)
4. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIG) 1983
5. Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971
6. Peraturan - peraturan lain yang relevan.