

## **BAB II** **STUDI PUSTAKA**

### **2.1 Tinjauan Umum**

Pada tahap perencanaan struktur gedung bank ini, perlu dilakukan studi pustaka untuk mengetahui hubungan antara susunan fungsional gedung dengan sistem struktural yang akan digunakan, disamping juga untuk mengetahui dasar – dasar teorinya. Pada jenis struktur gedung tertentu, perencanaan sering kali diharuskan menggunakan suatu pola akibat dari syarat-syarat fungsional maupun strukturnya. Pola – pola yang dibentuk oleh konfigurasi fungsional akan berpengaruh secara implisit pada desain struktur yang digunakan. Hal ini merupakan salah satu faktor yang menentukan, misalnya pada situasi yang mengharuskan bentang ruang yang besar serta harus bebas kolom, sehingga akan menghasilkan beban yang harus dipikul oleh balok yang lebih besar pula.

Pada bab ini akan dijelaskan tentang tata cara dan langkah – langkah perhitungan struktur mulai dari struktur atas yang meliputi pelat, balok, kolom, tangga dan lift sampai dengan perhitungan struktur bawah yang terdiri dari pondasi tiang pancang. 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 Jenis Struktur**

Pemilihan jenis struktur atas (*upper structure*) mempunyai hubungan yang erat dengan sistem fungsional gedung. Dalam proses desain struktur perlu dicari kedekatan antara jenis struktur dengan

masalah-masalah seperti arsitektural, efisiensi, *service ability*, kemudahan pelaksanaan dan juga biaya yang diperlukan. Adapun faktor yang menentukan dalam pemilihan jenis struktur sebagai berikut :

1. Aspek arsitektural

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

2. 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.

3. Kekuatan dan kestabilan struktur

Kekuatan dan kestabilan struktur mempunyai kaitan yang erat dengan kemampuan struktur untuk menerima beban – beban yang bekerja, baik beban vertikal maupun beban lateral, dan kestabilan struktur baik arah vertikal maupun lateral.

4. Faktor ekonomi dan kemudahan pelaksanaan

Biasanya dari suatu gedung dapat digunakan beberapa sistem struktur yang bisa digunakan, maka faktor ekonomi dan kemudahan pelaksanaan pengerjaan merupakan faktor yang mempengaruhi sistem struktur yang dipilih.

5. Faktor kemampuan struktur mengakomodasi sistem layan gedung

Struktur harus mampu mendukung beban rancang secara aman tanpa kelebihan tegangan ataupun deformasi yang dalam batas yang diijinkan. Keselamatan adalah hal penting dalam perencanaan struktur gedung terutama dalam penanggulangan bahaya kebakaran, maka dilakukan usaha-usaha sebagai berikut :

- Perencanaan *outlet* yang memenuhi persyaratan
- Penggunaan material tahan api terutama untuk instalasi – instalasi penting

- Fasilitas penanggulangan api disetiap lantai
- *Warning system* terhadap api dan asap
- Pengaturan ventilasi yang memadai

#### 6. Aspek lingkungan

Aspek lain yang ikut menentukan dalam perancangan dan pelaksanaan suatu proyek adalah aspek lingkungan. Dengan adanya suatu proyek yang diharapkan akan memperbaiki kondisi lingkungan dan kemasyarakatan. Sebagai contoh dalam perencanaan lokasi dan denah haruslah mempertimbangkan kondisi lingkungan apakah rencana kita nantinya akan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan sekitar, baik secara fisik maupun kemasyarakatan, atau bahkan sebaliknya akan dapat menimbulkan dampak yang positif.

Sedangkan pemilihan jenis pondasi (*sub structure*) yang digunakan menurut Suyono (1984) didasarkan kepada beberapa pertimbangan, yaitu :

##### 1. Keadaan tanah pondasi

Jenis tanah, daya dukung tanah, kedalaman tanah keras, dan beberapa hal yang menyangkut keadaan tanah erat kaitannya dengan jenis pondasi yang dipilih.

##### 2. Batasan-batasan akibat konstruksi diatasnya

Keadaan struktur atas sangat mempengaruhi pemilihan jenis pondasi. hal ini meliputi kondisi beban (besar beban, arah beban dan penyebaran beban) dan sifat dinamis bangunan diatasnya (statis tertentu atau tak tertentu, kekakuan dan sebagainya).

##### 3. Batasan-batasan dilingkungan sekelilingnya

Hal ini menyangkut lokasi proyek, pekerjaan pondasi tidak boleh mengganggu atau membahayakan bangunan dan lingkungan yang telah ada disekitarnya.

##### 4. Waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan

Suatu proyek pembangunan akan sangat memperhatikan aspek waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan, karena hal ini sangat erat

hubungannya dengan tujuan pencapaian kondisi ekonomis dalam pembangunan.

### **2.2.1 Elemen-Elemen Struktur Utama**

Pada perencanaan struktur gedung ini digunakan balok dan kolom sebagai elemen-elemen utama struktur. Balok dan kolom merupakan struktur yang dibentuk dengan cara meletakkan elemen kaku horisontal diatas elemen kaku vertikal. Balok memikul beban secara transversal dari panjangnya dan mentransfer beban tersebut ke kolom vertikal yang menumpunya. Kolom tersebut dibebani secara aksial oleh balok dan mentransfer beban itu ke tanah/pondasi.

### **2.2.2 Material / Bahan Struktur**

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

#### **1. Struktur Baja (*Steel Structure*)**

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

#### **2. Struktur Komposit (*Composite Structure*)**

Struktur komposit merupakan struktur gabungan yang terdiri dari dua jenis material atau lebih. 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, digunakan untuk struktur bangunan menengah sampai tinggi .

#### **3. Struktur Kayu (*Wooden Structure*)**

Struktur kayu merupakan struktur dengan ketahanan cukup baik terhadap pengaruh gempa dan mempunyai harga yang ekonomis.

Kelemahan daripada struktur kayu ini adalah tidak tahan terhadap kebakaran dan 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 dibandingkan dengan struktur lainnya.

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

Merupakan struktur beton yang dibuat dengan elemen-elemen struktural yang terbuat dari elemen pracetak. Umumnya digunakan pada struktur bangunan tingkat rendah sampai menengah. Kelemahan struktur ini adalah kurang monolit, sehingga ketahanannya terhadap gempa kurang baik.

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

Penggunaan sistem prategang pada elemen struktural akan berakibat kurang menguntungkan pada kemampuan berdeformasi daripada struktur dan akan mempengaruhi karakteristik respon terhadap gempa. Struktur ini digunakan pada bangunan tingkat rendah sampai menengah. Sistem prategang yang digunakan ada dua cara, yaitu :

- Sistem *Post-Tensioning*

Pada sistem ini beton dicor ditempat, kemudian setelah mencapai kekuatan 80%  $f'_c$  diberi gaya prategang. Biasanya 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.

### 2.3 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 pelaksanaan.

### **2.3.1 Desain Terhadap Beban Lateral (Gempa)**

Dalam mendesain struktur, kestabilan lateral adalah hal terpenting karena gaya lateral mempengaruhi desain elemen – elemen vertikal dan horisontal 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 dilakukan untuk mengetahui metode analisis, pemilihan metode dan kriteria dasar perancangannya.

#### **2.3.1.A Metode Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa**

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

##### **1. Metode Analisis Statis**

Merupakan analisis sederhana untuk menentukan pengaruh gempa tetapi hanya digunakan pada bangunan sederhana dan simetris, penyebaran kekakuan massa menerus dan ketinggian tingkat kurang dari 40 meter.

Analisis statis prinsipnya menggantikan beban gempa dengan gaya - gaya statis ekuivalen bertujuan menyederhanakan dan memudahkan perhitungan, dan disebut Metode Gaya Lateral Ekuivalen (*Equivalent Lateral orce Method*), yang mengasumsikan gaya gempa besarnya berdasar hasil perkalian suatu konstanta/massa dan elemen struktur tersebut.

##### **2. Metode Analisis Dinamis**

Analisis Dinamis dilakukan untuk evaluasi yang akurat dan mengetahui perilaku struktur akibat pengaruh gempa yang sifatnya berulang. Analisis dinamik perlu dilakukan pada struktur – struktur bangunan dengan karakteristik sebagai berikut:

- Gedung – gedung dengan konfigurasi struktur sangat tidak beraturan.
- Gedung – gedung dengan loncatan – loncatan bidang muka yang besar.
- Gedung – gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata.
- Gedung – gedung dengan yang tingginya lebih dan 40 meter.

Metode ini ada dua jenis yaitu Analisis Respon Dinamik Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) yang memerlukan rekaman percepatan gempa rencana dan Analisis Ragam Spektrum Respon (*Spectrum Modal Analysis*) dimana respon maksimum dan tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Spektrum Respon Rencana (*Design Spectra*).

### **2.3.1.B Pemilihan Cara 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 ekivalen. 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 di atas, maka perencanaan struktur gedung dalam tugas akhir ini menggunakan Analisis Ragam Spektrum Respon (metode analisa dinamis).

### 2.3.2 Denah dan Konfigurasi Bangunan

Dalam mendesain struktur perlu direncanakan terlebih dulu denah struktur setiap lantai bangunan, sehingga penempatan balok dan kolom sesuai dengan perencanaan ruang.

### 2.3.3 Pemilihan Material

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

Beton :

$$f'_c = 30 \text{ Mpa} \quad E_c = 25742,96 \text{ Mpa}$$

Baja :

$$\text{Tul. Utama} : \quad f_y = 400 \text{ Mpa} \quad E_s = 210000 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tul. Geser} : \quad f_y = 240 \text{ Mpa} \quad E_s = 210000 \text{ Mpa}$$

### 2.3.4 Konsep Pembebanan

#### 2.3.4.A Beban – Beban Pada Struktur

Dalam melakukan analisis desain suatu struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Hal penting yang mendasar adalah pemisahan antara beban – beban yang bersifat statis dan dinamis.

Gaya statik adalah gaya yang bekerja secara terus menerus pada struktur dan yang diasosiasikan dengan gaya – gaya ini juga secara perlahan-lahan timbul dan juga mempunyai karakter *steady state*.

Gaya dinamis adalah gaya yang bekerja secara tiba – tiba pada struktur. Pada umumnya tidak bersifat *steady state* dan mempunyai karakteristik besar dan lokasinya berubah – ubah dengan cepat. Deformasi pada struktur akibat beban ini juga berubah – ubah secara cepat. Gaya dinamis dapat menyebabkan terjadinya osilasi pada struktur hingga deformasi puncak tidak terjadi bersamaan dengan terjadinya gaya terbesar.

#### 1. Beban Statis

Jenis – jenis beban statis menurut Peraturan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung 1983 adalah sebagai berikut:

- Beban Mati (*Dead Load/ DL*)

Beban mati adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan.

**Tabel 2-1 Beban Mati Pada Struktur**

Beban Mati	Besar Beban
Batu Alam	2600 kg/m <sup>2</sup>
Beton Bertulang	2400 kg/m <sup>2</sup>
Dinding pasangan 1/2 Bata	250 kg/m <sup>2</sup>
Kaca setebal 12 mm	30 kg/m <sup>2</sup>
Langit-langit + penggantung	18 kg/m <sup>2</sup>
Lantai ubin semen portland	24 kg/m <sup>2</sup>
Spesi per cm tebal	21 kg/m <sup>2</sup>
Pertisi	130 kg/m <sup>2</sup>

- Beban hidup (*Life Load/LL*)

Beban hidup adalah beban – beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Meskipun dapat berpindah – pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja perlahan – lahan pada struktur. Beban hidup diperhitungkan berdasarkan pendekatan matematis dan menurut kebiasaan yang berlaku pada pelaksanaan konstruksi di Indonesia. Untuk menentukan secara pasti beban hidup yang bekerja pada suatu lantai bangunan sangatlah sulit, dikarenakan fluktuasi beban hidup bervariasi, tergantung dan banyak faktor. Beban hidup yang bekerja di struktur dihitung dengan metode beban papan catur sehingga dapat diketahui kemungkinan beban terbesar yang bekerja

**Tabel 2-2 Beban Hidup Pada Lantai Bangunan**

Beban Hidup Lantai Bangunan	Besar Beban
Lantai Kantor	250 kg/m <sup>2</sup>
Tangga dan Bordes	300 kg/m <sup>2</sup>
Lantai Ruang Alat dan Mesin	400 kg/m <sup>2</sup>
Beban Pekerja	100 kg/m <sup>2</sup>

## 2. Beban Gempa (*Earthquake Load/El*)

Gempa bumi adalah fenomena getaran yang dikaitkan dengan kejutan pada kerak bumi. Beban kejut ini dapat disebabkan oleh banyak hal, tetapi salah satu faktor yang utama adalah benturan pergesekan kerak bumi yang mempengaruhi permukaan bumi. Lokasi gesekan ini terjadi disebut *fault zone*. Kejutan yang berkaitan dengan benturan tersebut akan menjalar dalam bentuk gelombang. Gelombang ini menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya bergetar. Pada saat bangunan bergetar, timbul gaya – gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dan gerakan. Gaya yang timbul disebut gaya inersia. Besar gaya tersebut bergantung pada banyak faktor yaitu:

- Massa bangunan
- Pendistribusian massa bangunan
- Kekakuan struktur
- Jenis tanah
- Mekanisme redaman dan struktur
- Perilaku dan besar alami getaran itu sendiri
- Wilayah kegempaan
- Periode getar alami

Besarnya Beban Gempa Dasar Nominal horizontal akibat gempa menurut Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 1726-2002), dinyatakan sebagai berikut:

$$V = W_t \cdot C^* \quad (2.1)$$

$$C^* = C \cdot I \cdot K \cdot Z \quad (2.2)$$

Dimana:

V = Beban Gempa Dasar Nominal (didapatkan dengan mengalikan beban gempa rencana dengan koefisien gempa dasar nominal)

W<sub>t</sub> = Kombinasi dan beban mati dan beban hidup vertikal yang direduksi

C\* = Koefisien Gempa Dasar Nominal

- C = Spektrum Respon Nominal Gempa Rencana, yang besarnya tergantung dari jenis tanah dasar dan waktu getar struktur T
- I = Faktor Keutamaan Struktur
- K = Faktor Jenis Struktur
- Z = Faktor Wilayah, di mana Indonesia dibagi menjadi 6 wilayah gempa.

Untuk menentukan harga c harus diketahui terlebih dahulu jenis tanah tempat struktur bangunan itu berdiri. Untuk menentukan jenis tanah menggunakan rumus tegangan tanah dasar sesuai dengan yang tertera pada Diktat Kuliah Rekayasa Pondasi sebagai berikut:

$$\tau = c + \sum \sigma_1 \tan \phi \quad (2.3)$$

$$\sigma_1 = \gamma_1 + h_1 \quad (2.4)$$

dimana:

- $\tau$  = Tegangan geser tanah ( $\text{kg/cm}^2$ )
- c = Nilai kohesi tanah pada lapisan paling dasar lapisan yang ditinjau
- $\sigma_1$  = Tegangan normal masing-masing lapisan tanah ( $\text{kg/cm}$ )
- $\gamma_1$  = Berat jenis masing-masing lapisan tanah ( $\text{kg/cm}$ )
- h = Tebal masing-masing lapisan tanah
- $\phi$  = Sudut geser pada lapisan paling dasar lapisan yang ditinjau

**Tabel 2-3 Definisi Jenis Tanah**

Jenis Tanah	Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak
<b>Kedalaman Lap. Keras (Meter)</b>	<b>Nilai Rata-rat Kekuatan Geser Tanah</b>		
5	$S > 55$	$45 \leq S \leq 55$	$S < 45$
10	$S > 110$	$90 \leq S \leq 110$	$S < 90$
15	$S > 220$	$180 \leq S \leq 220$	$S < 180$
$\geq 20$	$S > 330$	$270 \leq S \leq 330$	$S < 270$

**Tabel 2-4 Faktor Keutamaan Struktur**

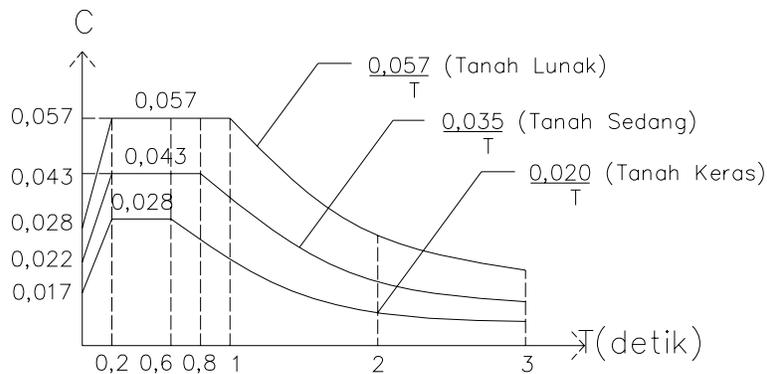
Jenis Struktur Bangunan/Gedung	I
• Bangunan monumental untuk dilestarikan	1,9
• Bangunan penting yang harus tetap berfungsi setelah terjadi gempa,	1,4

Jenis Struktur Bangunan/Gedung	I
seperti rumah sakit, instalasi air minum, pembangkit listrik	
• Bangunan tempat menyimpan gas, minyak, asam dan bahan beracun instalasi nuklir	6
• Bangunan rendah untuk penghunian, pertokoan dan perkantoran, tinggi s/d 10 tingkat	0,9
• Bangunan biasa untuk penghunian, pertokoan dan perkantoran, dengan tinggi 10–30 tingkat	1
• Bangunan tinggi untuk penghunian, pertokoan dan perkantoran, dengan tinggi lebih dari 30 tingkat	1

**Tabel 2-5 Faktor Wilayah Gempa**

Wilayah Gempa Indonesia	Percepatan Tanah Maksimum Pada Tanah Keras (g)	Z
1	0,26	2,6
2	0,18	1,8
3	0,14	1,4
4	0,10	1,0
5	0,06	0,6
6	0,00	0,0

Spektrum Respon Nominal Gempa Rencana untuk struktur dengan daktilitas penuh pada beberapa jenis tanah dasar, diperlihatkan pada Gambar 2-1.



**Gambar 2-1 Respon Spektrum Gempa Rencana**

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 menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke- $i$  menurut persamaan:

$$F_i = \frac{W_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n (W_i \cdot z_i)} V \quad (2.5)$$

keterangan:

$W_i$  = 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 2.5.

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

$$T_1 = 6.3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_i}} \quad (2.6)$$

keterangan:

$d_i$  = 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  $C_I$  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 2.6.

Perencanaan struktur di daerah gempa menggunakan konsep desain kapasitas yang berarti bahwa ragam keruntuhan struktur akibat beban gempa yang besar ditentukan lebih dahulu dengan elemen – elemen kritisnya dipilih sedemikian rupa agar mekanisme keruntuhan struktur dapat memencarkan energi yang sebesar – besarnya.

Konsep desain kapasitas dipakai untuk merencanakan kolom – kolom pada struktur agar lebih kuat dibanding dengan elemen – lemen balok (*Strong Column Weak Beam*). Hal ini dilakukan dengan pertimbangan – pertimbangan sebagai berikut:

- Pada mekanisme sendi plastis balok, pemencaran energi gempa terjadi di dalam banyak unsur. Sedangkan mekanisme sendi plastis pada kolom, jumlah pemencaran energi terpusat pada kolom – kolom struktur lebih sedikit.
- Pada mekanisme sendi plastis pada balok, bahaya ketidakstabilan akibat efek perpindahan jauh lebih kecil dibandingkan dengan mekanisme sendi plastis pada kolom.
- Keruntuhan kolom dapat menyebabkan keruntuhan total dari keseluruhan bangunan.

Pada prinsipnya dengan konsep desain kapasitas elemen – elemen utama penahan gempa dapat dipilih, direncanakan dan detail sedemikian rupa, sehingga mampu memencarkan energi gempa yang cukup besar tanpa mengalami keruntuhan struktur secara total, sedangkan elemen – elemen lainnya diberi kekuatan yang cukup sehingga mekanisme yang telah dipilih dapat dipertahankan pada saat terjadi gempa kuat.

### 3. Beban Angin (*Wind Load/WL*)

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

#### **2.3.4.B Faktor Beban Dan Kombinasi Pembebanan**

Untuk keperluan desain, analisis dan sistem struktur perlu diperhitungkan terhadap kemungkinan terjadinya kombinasi pembebanan (*Load Combination*) dan beberapa kasus beban yang dapat bekerja secara

bersamaan selama umur rencana. Menurut Peraturan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung 1983, ada 2 kombinasi pembebanan yang perlu ditinjau pada struktur yaitu Kombinasi Pembebanan Tetap dan Kombinasi Pembebanan Sementara. Pembebanan tetap merupakan beban yang dianggap dapat bekerja terus menerus pada struktur selama umur rencana. Kombinasi pembebanan ini disebabkan oleh bekerjanya beban mati (*Dead Load*) dan beban hidup (*Live Load*). Sedangkan kombinasi pembebanan sementara tidak bekerja secara terus menerus pada struktur, tetapi pengaruhnya tetap diperhitungkan dalam analisa. Kombinasi pembebanan ini disebabkan oleh bekerjanya beban mati, beban hidup dan beban gempa. Nilai – nilai beban tersebut di atas dikalikan dengan suatu faktor magnifikasi yang disebut faktor beban Tujuan dari pengalihan tersebut agar struktur dan komponennya memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai terhadap berbagai kombinasi beban.

Faktor beban memberikan nilai kuat perlu bagi perencanaan pembebanan pada struktur. SNI 03-1729-2002 sub bab 6.2.2 menentukan nilai kuat perlu sebagai berikut:

- Untuk beban mati / tetap :  $Q = 1,2$
- Untuk beban hidup sementara :  $Q = 1,6$

Namun pada beberapa kasus yang meninjau berbagai kombinasi beban, nilai kombinasi kuat perlu yang diberikan:

$$U = 1,2D + 1,6L \quad (2.7)$$

$$U = 1,2 D + \gamma_L L \pm 1,0E \quad (2.8)$$

keterangan:

D = Beban Mati

L = Beban Hidup

E = Beban Gempa

$\gamma_L = 0,5$  bila  $L < 5Kpa$ , dan  $1$  bila  $\geq 5 Kpa$

### 2.3.5 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. SKSNI NT T-15-1991-01 menetapkan berbagai nilai F untuk berbagai jenis besaran gaya yang didapat dan perhitungan struktur.

**Tabel 2-6 Reduksi Kekuatan**

Kondisi Pembebanan	Faktor Redusi
Beban lentur tanpa gaya aksial	0,80
Gaya aksial tarik, aksial tarik dengan lentur	0,80
Gaya aksial tekan, aksial tekan dengan lentur <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dengan tulangan Spiral</li> <li>• Dengan tulangan biasa</li> </ul>	0,70 0,65
Lintang dan Torsi	0,60
Tumpuan Pada Beton	0,70

## 2.4 Perencanaan Struktur Atas (*Upper Structure*)

Struktur atas adalah struktur bangunan dalam hal ini adalah bangunan gedung yang secara visual berada di atas tanah yang terdiri dan struktur sekunder seperti pelat, balok anak, ramp, lift, tangga dan struktur portal utama yaitu kesatuan antara balok dan kolom.

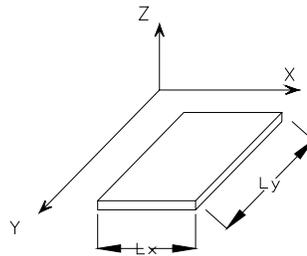
Perencanaan struktur portal utama direncanakan dengan menggunakan prinsip *strong column weak beam*, di mana sendi – sendi plastis diusahakan terletak pada balok – balok.

### 2.4.1 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 dicor 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 2-2.



**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 :

$$h_{\min} = \frac{\ln\left(0.8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 9\beta} \quad (2.9)$$

$$h_{\text{mak}} = \frac{\ln(0.8 + \frac{f_y}{1500})}{36} \quad (2.10)$$

$h_{\text{min}}$  pada pelat lantai ditetapkan sebesar 12 cm, sedang  $h_{\text{min}}$  pada pelat atap ditetapkan sebesar 9 cm.

3. Menghitung beban yang bekerja pada pelat, berupa beban mati dan beban hidup terfaktor.
4. Menghitung momen – momen yang menentukan.
5. Mencari tulangan pelat

Perhitungan penulangan pelat menggunakan langkah perhitungan Penampang Persegi Tulangan *Single* menurut Ir. Udiyanto (1996)

- a. Menetapkan diameter tulangan utama yang direncanakan dalam arah x dan arah y.
- b. Mencari tinggi efektif dalam arah x dan arah y.
- c. Membagi Mu dengan  $\phi \left( \frac{Mu}{\phi} \right)$  (2.11)

dimana  $\phi$  = faktor reduksi 0,8

- d. Mencari nilai K

$$K = \frac{Mn}{b \times d^2 \times Re} \quad (2.12)$$

- e. Mencari nilai F dan tentukan jenis tulangan

$$F = 1 - \sqrt{1 - (2 \times K)} \quad (2.13)$$

- f. Menghitung luas tulangan

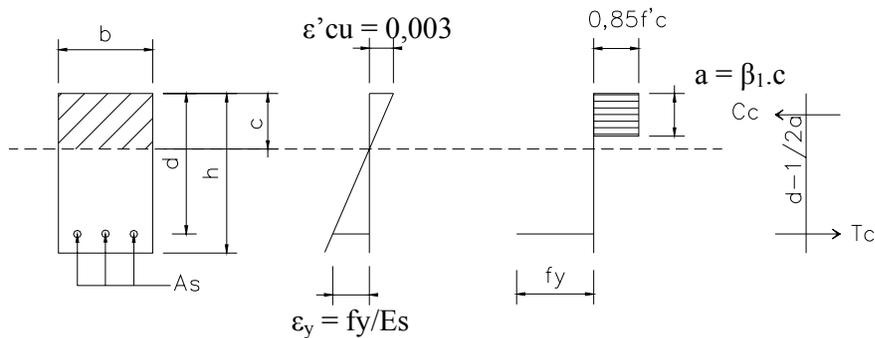
$$A_s = F \times b \times d_x \times \frac{R_e}{f_y} \quad (2.14)$$

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

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.15)$$

$$\rho_{\text{mak}} = \frac{\beta \times 450}{600 + f_y} \times \frac{0,85 \times f' c}{f_y} \quad (2.16)$$

### 2.4.1.A Perencanaan Terhadap Lentur



**Gambar 2-3 Penampang, Diagram Regangan dan Tegangan Dalam Keadaan Seimbang (*Balance*)**

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  $\beta_1 = 0,85$

$A_s = \rho.b.d$  dengan  $\rho$  dinamakan rasio tulangan

Selanjutnya untuk  $f'c \leq 30 \text{ MPa}$  akan didapatkan  $0,7225 b.c.f'c = \rho.b.d.f_y$

Dari diagram regangan didapati :

$$\frac{c}{d} = \frac{\epsilon'_{cu}}{\epsilon'_{cu} + \epsilon_y} = \frac{0,003}{0,003 + \frac{400}{210000}} = 0,6117 \text{ atau } c = 0,6117 d$$

$$\text{sehingga } 0,7225 b.c.f'c = \rho.b.d.f_y$$

$$0,7225 b.0,6117.d.30 = \rho.b.d.400$$

$$\text{didapatkan } \rho_{\text{balance}} = 0,0331$$

sedangkan menurut SK SNI T-15-1991-03

- Untuk menentukan rasio pembesian minimum menggunakan rumus :

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

- Untuk menentukan rasio pembesian maksimum menggunakan rumus :

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,0331 = 0,0248$$

#### 2.4.1.B Perhitungan Perencanaan Terhadap Lentur

Dalam perencanaan ini digunakan:

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

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$\phi = 0,8$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \text{ (KNm)}$$

$$R_l = \beta_1 \cdot f'_c \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$$

dimana:

$R_l$  = ketahanan lentur beton / tegangan tekan pada penampang

$\beta_1 = 0,85$  untuk  $f'_c \leq 30 \text{ Mpa}$

$$F_{\max} = \frac{\beta_1 \times 450}{600 + f_y}$$

$$K = \frac{M_n}{b \times d_x^2 \times R_l}$$

Syarat :  $F = 1 - \sqrt{1 - 2K} < F_{\max}$

$$A_s = \frac{F \times b \times d_x \times R_l}{f_y} \text{ (mm}^2\text{)}$$

Periksa :

- Kapasitas penampang  $F = \frac{A_s \times f_y}{b \times d_x \times R_l} < F_{\max}$

- Rasio tulangan  $\rho = \frac{A_s}{b \times d_x}$

Syarat :  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

Jika :

- $\rho = \frac{F \times R_l}{f_y} < \rho_{\min}$  (dipakai  $\rho_{\min}$ )

$$A_{s_{\min}} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d_x \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$- \rho = \frac{F \times Rl}{f_y} < \rho_{\max} \text{ (dipakai } \rho_{\max}\text{)}$$

$$A_{S_{\max}} = \rho_{\max} \cdot b \cdot dx \text{ (mm}^2\text{)}$$

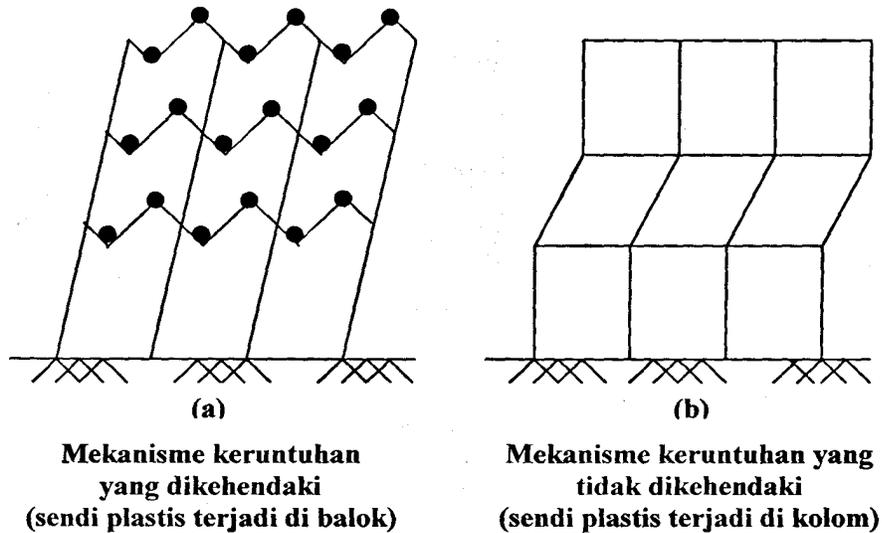
## 2.4.2 Perencanaan Struktur Utama Portal

Perencanaan portal mengacu pada SKSNI 03-2002 dimana struktur dirancang sebagai portal daktail penuh ( $K = 1$ ) dimana penempatan sendi – sendi plastis pada balok (*strong column weak beam*). Pengendalian terbentuknya sendi – sendi plastis pada lokasi – lokasi yang telah ditentukan lebih dahulu dapat dilakukan secara pasti terlepas dari kekuatan dan karakteristik gempa. Filosofi perencanaan seperti itulah yang kita kenal sebagai *Konsep Desain Kapasitas*.

### 2.4.2.A Prinsip Dasar Desain Kapasitas

Dalam Konsep Desain Kapasitas, untuk menghadapi gempa kuat yang mungkin terjadi dalam periode waktu tertentu, maka mekanisme keruntuhan suatu portal dipilih sedemikian rupa, sehingga pemencaran energi gempa terjadi secara memuaskan dan keruntuhan yang terjadi secara katastropik dapat dihindarkan. Gambar 2-4. memperlihatkan dua mekanisme khas yang dapat terjadi pada portal – portal rangka. Mekanisme goyang dengan pembentukan sebagian besar sendi plastis pada balok – balok lebih dikehendaki daripada mekanisme dengan pembentukan sendi plastis yang terpusat hanya pada ujung – ujung kolom suatu lantai, karena:

1. Pada mekanisme pertama (Gambar 2-4 a) penyebaran energi gempa terjadi dalam banyak unsur, sedangkan pada mekanisme kedua (Gambar 2-4 b) penyebaran energi terpusat pada sejumlah kecil kolom – kolom struktur.
2. Daktilitas kurvatur yang dituntut dan balok untuk menghasilkan daktilitas struktur tertentu, misalnya  $\mu = 5$ , pada umumnya jauh lebih mudah dipenuhi daripada kolom yang seringkali tidak memiliki cukup daktilitas akibat gaya aksial tekan yang bekerja.



**Gambar 2-4 Mekanisme Keruntuhan Pada Portal**

Guna menjamin terjadinya mekanisme goyang dengan pembentukan sebagian besar sendi plastis pada balok, Konsep Desain Kapasitas diterapkan untuk merencanakan agar kolom – kolom lebih kuat dan balok – balok portal (*Strong Column-Weak Beam*). Keruntuhan geser balok yang bersifat getas juga diusahakan agar tidak terjadi lebih dahulu dan kegagalan akibat beban lentur pada sendi – sendi plastis balok setelah mengalami rotasi – rotasi plastis yang cukup besar.

Pada prinsipnya, dengan Konsep Desain Kapasitas elemen – elemen utama penahan beban gempa dapat dipilih, direncanakan dan didetail sedemikian rupa, sehingga mampu memencarkan energi gempa dengan deformasi inelastisitas yang cukup besar tanpa runtuh, sedangkan elemen – elemen lainnya diberi kekuatan yang cukup, sehingga mekanisme yang telah dipilih dapat dipertahankan pada saat terjadi gempa kuat.

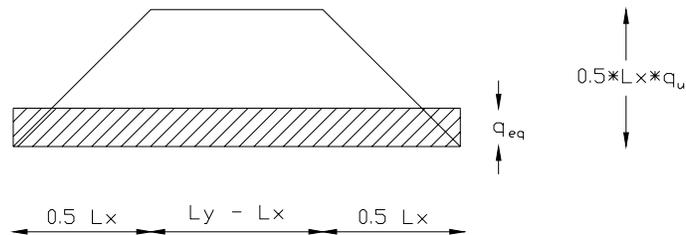
#### **2.4.2.B Perencanaan Struktur Balok**

Dalam pra desain tinggi balok menurut SKSNI 03-2002 merupakan fungsi dan bentang dan mutu baja yang digunakan. Secara umum pra

desain tinggi balok direncanakan  $(1/10)L - (1/15)L$ , dan lebar balok diambil  $(1/2)H - (2/3)H$  dimana H adalah tinggi balok.

Pada perencanaan balok maka pelat dihitung sebagai beban dimana pendistribusian gayanya menggunakan metode amplop. Dalam metode amplop terdapat 2 macam bentuk yaitu pelat sebagai beban segitiga dan pelat sebagai beban trapesium. Adapun persamaan bebannya adalah sebagai berikut:

- **Perataan Beban Trapesium**



**Gambar 2-5 Perataan Beban Trapesium**

Momen Maximum beban trapesium berdasarkan grafik dan tabel penulangan beton bertulang adalah :

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= \frac{w(3L^2 - 4a^2)}{24} \\
 &= \frac{\frac{1}{2} \times Lx \times q_u \left\{ (3 \times Ly^2) - \left( 4 \times \left( \frac{Lx}{2} \right)^2 \right) \right\}}{24} \\
 &= \frac{\frac{1}{2} \times Lx \times q_u \left\{ (3 \times Ly^2) - \left( 4 \times \frac{1}{4} \times Lx^2 \right) \right\}}{24} \\
 &= \frac{1}{48} \times Lx \times q_u \times (3Ly^2 \times Lx^2) \quad \dots\dots\dots(1)
 \end{aligned}$$

Momen max beban segiempat berdasarkan grafik dan tabel penulangan beton bertulang adalah :

$$M_{\max} = \frac{1}{8} \times w \times L^2$$

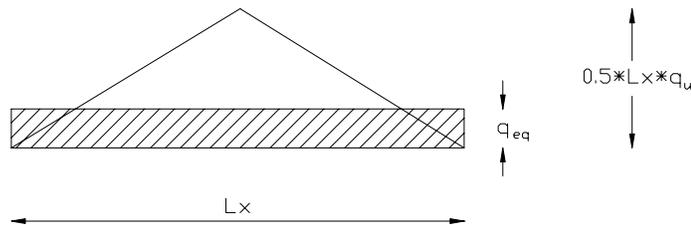
$$= \frac{1}{8} \times q_{\text{ek}} \times Ly^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

Pers(1) = Pers(2)

$$\frac{1}{48} \times Lx \times q_u \times (3Ly^2 \times Lx^2) = \frac{1}{8} \times q_{\text{ek}} \times Ly^2$$

$$q_{\text{ek}} = \frac{Lx \times q_u \times (3Ly^2 - Lx^2)}{6Ly^2}$$

• **Perataan Beban Segitiga**



**Gambar 2-6 Perataan Beban Segitiga**

Momen Maximum beban segitiga berdasarkan grafik dan tabel penulangan beton bertulang adalah :

$$M_{\text{Max}} = \frac{1}{12} \times w \times L^2$$

$$= \frac{1}{12} \times \frac{1}{2} \times Lx \times q_u \times Lx^2$$

$$= \frac{1}{24} \times q_u \times Lx^3 \quad \dots\dots\dots (1)$$

Momen Maximum beban segiempat berdasarkan grafik dan tabel penulangan beton bertulang adalah :

$$M_{Max} = \frac{1}{8} \times q_{eq} \times Lx^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

Pers (1) = Pers (2)

$$\frac{1}{24} \times q_U \times Lx^3 = \frac{1}{8} \times q_{eq} \times Lx^2$$

$q_{eq} = \frac{1}{3} \times q_U \times Lx$
---

Perhitungan penulangan balok struktur beton menggunakan program SAP 2000. Prosedur desain elemen – elemen balok dari struktur dengan SAP 2000 terdiri dua tahap sebagai berikut:

- Desain tulangan pokok untuk menahan momen lentur.
- Desain tulangan geser (sengkang) untuk menahan gaya geser.

#### 2.4.2.C Perencanaan Struktur Kolom

Elemen kolom menerima beban lentur dan beban aksial, menurut SKSNI 03-2002 pasal 3.2.2 untuk perencanaan kolom yang menerima beban lentur dan beban aksial ditetapkan koefisien reduksi bahan 0,65 sedangkan pembagian tulangan pada kolom (berpenampang segiempat) dapat dilakukan dengan:

- Tulangan dipasang simetris pada dua sisi kolom (*two faces*)
- Tulangan dipasang pada empat sisi kolom (*four faces*)

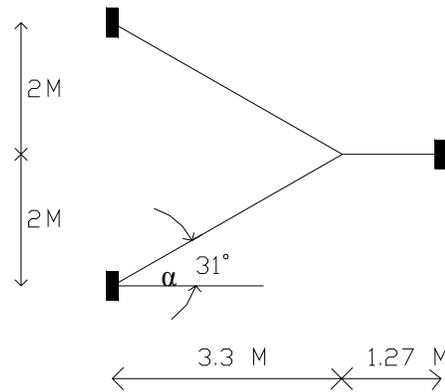
Pada perencanaan gedung bank ini dipakai perencanaan kolom dengan menggunakan tulangan pada empat sisi penampang kolom (*four faces*).

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:

- Desain tulangan pokok untuk menahan momen lentur
- Desain tulangan geser (sengkang) untuk menahan gaya geser

### 2.4.3 Perencanaan Tangga

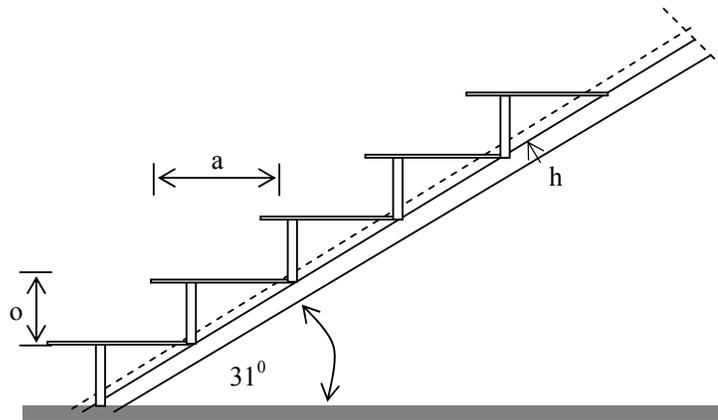
Struktur tangga digunakan untuk melayani aksesibilitas antar lantai pada gedung yang mempunyai tingkat lebih dan satu. Tangga merupakan komponen yang harus ada pada bangunan berlantai banyak walaupun sudah ada peralatan transportasi vertikal lainnya, karena tangga tidak memerlukan tenaga mesin.



**Gambar 2-7 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 2-8 Pendimensian Struktur Tangga**

Perhitungan gaya – gaya dalam yang terjadi pada struktur tangga seluruhnya dilakukan dengan menggunakan metode cross.

#### **2.4.4 Perencanaan Lift**

Lift merupakan alat transportasi manusia dalam gedung dan satu tingkat ke tingkat lain. Perencanaan lift disesuaikan dengan pemikiran jumlah lantai dan perkiraan jumlah pengguna lift. Dalam perencanaan lift, metode perhitungan yang dilakukan merupakan analisis terhadap konstruksi ruang tempat lift dan balok penggantung katrol 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, misalnya tali putus.

#### **2.5 Perencanaan Struktur Bawah (*Sub Structure*)**

Berdasarkan data tanah hasil penyelidikan, beban – beban yang bekerja dan kondisi sekitar proyek, telah dipilih penggunaan pondasi tiang pancang. Pemilihan sistem pondasi ini didasarkan atas pertimbangan:

1. Beban yang bekerja cukup besar.
2. Pondasi tiang pancang dibuat dengan sistem sentrifugal, menyebabkan beton lebih rapat sehingga dapat menghindari bahaya korosi akibat rembesan air.

3. Pondasi yang digunakan cukup banyak, sehingga penggunaan tiang pancang prategang merupakan pilihan terbaik.

### 2.5.1 Penentuan Parameter Tanah

Kondisi tanah selalu mempunyai peranan penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi. Tanah adalah landasan pendukung suatu bangunan. Untuk dapat mengetahui susunan lapisan tanah yang ada, serta sifat – sifatnya secara mendetail, untuk perencanaan suatu bangunan yang akan dibangun maka dilakukan penyelidikan dan penelitian. Pekerjaan penyelidikan dan penelitian tanah ini merupakan penyelidikan yang dilakukan di laboratorium dan lapangan.

Maksud dan penyelidikan dan penelitian tanah adalah melakukan investigasi pondasi rencana bangunan untuk dapat mempelajari susunan lapisan tanah yang ada, serta sifat – sifatnya yang berkaitan dengan jenis bangunan yang akan dibangun di atasnya.

### 2.5.2 Analisis Daya Dukung Tanah

Analisis Daya dukung mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi struktur yang terletak di atasnya. Daya dukung tanah (*Bearing Capacity*) adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban baik dan segi struktur pondasi maupun bangunan di atasnya tanpa terjadi keruntuhan geser. Daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) adalah daya dukung terbesar dan tanah dan biasanya diberi simbol  $q_{ult}$ . Daya dukung  $q_{all}$  merupakan kemampuan tanah mendukung beban, dan diasumsikan tanah mulai terjadi keruntuhan. Besarnya daya dukung yang diijinkan sama dengan daya dukung batas dibagi angka keamanan, rumusnya adalah:

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

Perancangan pondasi harus dipertimbangkan terhadap keruntuhan geser dan penurunan yang berlebihan. Untuk terjaminnya stabilitas jangka panjang, perhatian harus diberikan pada perletakan dasar pondasi. Pondasi harus diletakkan pada kedalaman yang cukup untuk menanggulangi resiko

adanya erosi permukaan, gerusan, kembang susut tanah dan gangguan tanah di sekitar pondasi.

### 2.5.3 Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

#### 2.5.3.A Perhitungan Daya Dukung Vertikal Tiang Pancang

Analisis-analisis kapasitas daya dukung dilakukan dengan cara pendekatan untuk memudahkan perhitungan. Persamaan-persamaan yang dibuat dikaitkan dengan sifat – sifat tanah dan bentuk bidang geser yang terjadi saat keruntuhan.

##### 1. Berdasarkan kekuatan bahan

Menurut Peraturan Beton Indonesia (PBI), tegangan tekan beton yang diijinkan yaitu:

$$\sigma_b = 0.33 \times f'c : f'c = \text{kekuatan karakteristik beton}$$

$$\sigma_b = 0.33 \times 300 = 99 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{\text{tiang}} = \sigma_b * A_{\text{tiang}}$$

dimana:  $P_{\text{tiang}}$  = Kekuatan pikul tiang yang diijinkan

$\sigma_b$  = Tegangan tekan tiang terhadap penumbukan

$A_{\text{tiang}}$  = Luas penampang tiang pancang

##### 2. Berdasarkan hasil sondir

Tes Sondir atau Cone Penetration Test (CPT) pada dasarnya adalah untuk memperoleh tahanan ujung (q) dan tahanan selimut (c) sepanjang tiang. Tes sondir ini biasanya dilakukan pada tanah – tanah kohesif dan tidak dianjurkan pada tanah berkerikil dan lempung keras. Berdasarkan faktor pendukungnya, daya dukung tiang pancang dapat digolongkan sebagai berikut:

- *End Bearing Pile*

Tiang pancang yang dihitung berdasarkan tahanan ujung dan memindahkan beban yang diterima ke lapisan tanah keras di bawahnya.

Persamaan yang digunakan untuk menentukan daya dukung tanah terhadap tiang adalah

$$Q_{tiang} = \frac{A_{tiang} * p}{3}$$

Kemampuan tiang terdapat kekuatan bahan:

$$P_{tiang} = \text{Bahan} \times A_{tiang}$$

dengan:

$$Q_{tiang} = \text{Daya dukung keseimbangan tiang (kN)}$$

$$A_{tiang} = \text{Luas permukaan tiang (m)}$$

$$P = \text{Nilai conus hasil sondir (kN/m)}$$

$$3 = \text{Faktor keamanan}$$

$$P_{tiang} = \text{Kekuatan yang diijinkan pada tiang pancang (kg)}$$

$$\text{Bahan} = \text{Tegangan tekan ijin bahan tiang (kg/cm)}$$

- *Friction Pile*

Jika pemancangan tiang sampai lapisan tanah keras sulit dilaksanakan karena letaknya sangat dalam, dapat dipergunakan tiang pancang yang daya dukungnya berdasarkan perletakan antara tiang dengan tanah (*cleef*).

Persamaan daya dukung yang diijinkan terhadap tiang adalah:

$$Q_{tiang} = \frac{O * JHP}{5}$$

Dimana :

$$Q_{tiang} = \text{Daya dukung keseimbangan tiang (kN)}$$

$$O = \text{Keliling tiang pancang (m)}$$

$$JHP = \text{Total friction (kN/m)}$$

$$5 = \text{Faktor Keamanan}$$

- *End Bearing And Friction Pile*

Jika perhitungan tiang pancang didasarkan terhadap tahanan ujung dan hambatan pelekat, persamaan daya dukung yang diijinkan adalah:

$$Q_{tiang} = \frac{A_{tiang} * p}{3} + \frac{O * C}{5}$$

dengan:

$$Q_{tiang} = \text{Daya dukung keseimbangan tiang (kN)}$$

- O = Keliling tiang pancang (m)  
 JHP = Total friction (kN/m)

### 2.5.3.B Daya Dukung Ijin Tiang Group ( $P_{all}$ Group)

Dalam pelaksanaan jarang dijumpai pondasi yang hanya terdiri dan satu tiang saja, tetapi terdiri dan kelompok tiang. Teori membuktikan dalam daya dukung kelompok tiang geser tidak sama dengan daya dukung tiang secara individu dikalikan jumlah tiang dalam kelompok, melainkan akan lebih kecil karena adanya faktor efisiensi.

$$Eff = 1 - \frac{\varphi}{90} \left[ \frac{(n-1)m + (m-1)n}{m * n} \right]$$

- dimana : m : jumlah baris  
 n : jumlah tiang  
 $\varphi$  : arc tan (d/s), dalam derajat  
 d : diameter tiang  
 s : jarak antar tiang

$$P_{all\ group} = Eff \times P_{all\ tiang} \text{ (daya dukung tiang tunggal)}$$

### 2.5.3.C $P_{max}$ Yang Terjadi Pada Tiang Akibat Pembebanan

$$P_{max} = \frac{\Sigma P_v}{n} \pm \frac{M_x * Y_{max}}{n_y \Sigma y^2} \pm \frac{M_y * X_{max}}{n_x \Sigma x^2}$$

Dimana:

- $P_{max}$  : beban max yang diterima 1 tiang pancang  
 $\Sigma P_v$  : jumlah beban vertikal  
 n : banyaknya tiang pancang  
 $M_x$  : momen arah X  
 $M_y$  : momen arah Y  
 $X_{max}$  : absis max (jarak terjauh) tiang ke pusat berat kelompok tiang  
 $Y_{max}$  : ordinat max (jarak terjauh) tiang ke pusat berat kelompok tiang  
 $N_x$  : banyak tiang dalam satu baris arah x  
 $N_y$  : banyak tiang dalam satu baris arah y  
 $\Sigma y^2$  : jumlah kuadrat jarak arah Y (absis – absis) tiang  
 $\Sigma x^2$  : jumlah kuadrat jarak arah X (ordinat – ordinat) tiang  
 $P_{max}$  di dapat dari hasil output SAP 2000, dibandingkan  $P_{eff}$

### 2.5.3.D Kontrol *Settlement*

Dalam kelompok tiang pancang (pile group) ujung atas tiang – tiang tersebut dihubungkan satu dengan yang lainnya dengan *poer* (pile cap) yang kaku untuk mempersatukan pile – pile menjadi satu-kesatuan yang kokoh. Dengan *poer* ini diharapkan bila kelompok tiang pancang tersebut dibebani secara merata akan terjadi penurunan yang merata pula.

Penurunan kelompok tiang pancang yang dipancang sampai lapisan tanah keras akan kecil sehingga tidak mempengaruhi bangunan di atasnya. Kecuali bila dibawah lapisan keras tersebut terdapat lapisan lempung, maka penurunan kelompok tiang pancang tersebut perlu diperhitungkan.

Pada perhitungan penurunan kelompok tiang pancang dengan tahanan ujung diperhitungkan merata pada bidang yang melalui ujung bawah tiang. Kemudian tegangan ini disebarkan merata ke lapisan tanah sebelah bawah dengan sudut penyebaran 30°.

Mekanisme penurunan pada pondasi tiang pancang dapat ditulis dalam persamaan :

$$S_r = S_i + S_c$$

Keterangan:

$S_r$  = Penurunan total pondasi tiang

$S_i$  = Penurunan seketika pondasi tiang

$S_c$  = Penurunan konsolidasi pondasi tiang

#### 1. Penurunan Seketika (*immediate settlement*)

Rumus yang digunakan :

$$S_i = q_n \cdot 2B \cdot \frac{1 - \mu \cdot 2}{E_u} \cdot I_p$$

Keterangan:

$q_n$  = besarnya tekanan netto pondasi

$B$  = Lebar ekivalen dari pondasi rakit

$\mu$  = angka poisson, tergantung dari jenis tanah

$I_p$  = Faktor pengaruh, tergantung dari bentuk dan kekakuan pondasi

$E_u$  = sifat elastis tanah, tergantung dari jenis tanah

## 2. Penurunan Konsolidasi

Perhitungan dapat menggunakan rumus :

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \frac{p_0 + \Delta p}{p_0}$$

$C_c$  = *compression index*

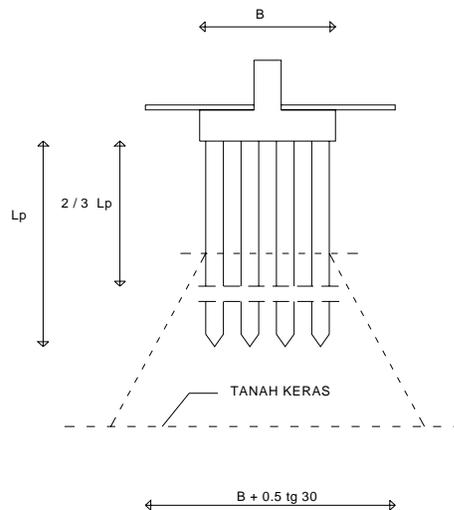
$e_0$  = *void ratio*

$p_0$  = tegangan efektif pada kedalaman yang ditinjau

$\Delta P$  = penambahan tegangan setelah ada bangunan

$H$  = tinggi lapisan yang mengalami konsolidasi

Gambar 2-7 ini menunjukkan mekanisme penurunan pada tiang pancang.



**Gambar 2-9 Penurunan Pada Tiang Pancang**

Keterangan :

$L_p$  = kedalaman tiang pancang

$B$  = lebar *poer*

### 2.5.3.E Kontrol Gaya Horisontal

Kontrol gaya horizontal dilakukan untuk mencari gaya horizontal yang dapat didukung oleh tiang. Dalam perhitungan digunakan metode dari Brooms

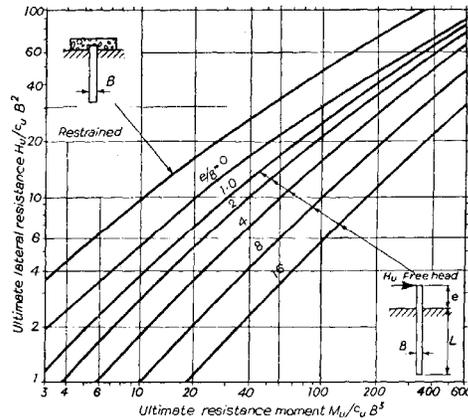


Fig. 6.29 Ultimate lateral resistance of long pile in cohesive soil related to ultimate resistance moment (after Broms<sup>(6,7)</sup>)

### Gambar 2-10 Grafik Brooms Untuk Tiang Panjang Dengan Tanah Kohesif

Cara menghitung gaya horizontal sementara yang diijinkan pada tiang pancang adalah sebagai berikut:

$$\frac{Mu}{Cu.d^3} = x, \text{ X dilihat pada grafik dan diplot sehingga diperoleh harga}$$

$$\frac{Hu}{Cu.d^2} = y$$

dari persamaan di atas dapat dicari  $H_u$  dan  $H_{u\text{ijin}}$

Untuk menghitung momen maksimum Brooms menggunakan persamaan:

$$H_u = \frac{2.Mu}{(1,5.d + 0,5.f)}$$

Keterangan:

$$f = \frac{H_u}{9.Cu.d}$$

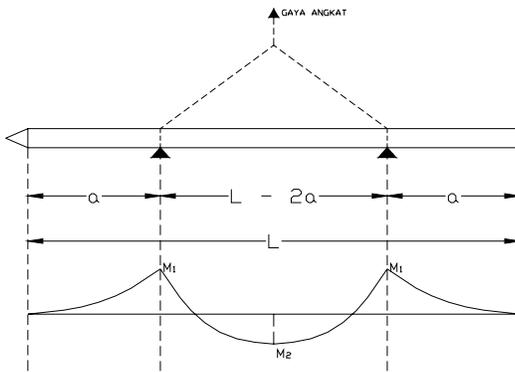
$C_u$  = cohesi consolidation undrained (dilihat dari tabel)

$d$  = diameter tiang

### 2.5.3.F Penulangan Tiang Pancang

#### 1. Akibat Pengangkatan

- Kondisi I



**Gambar 2-11 Pengangkatan Tiang Pancang Dengan 2 Titik**

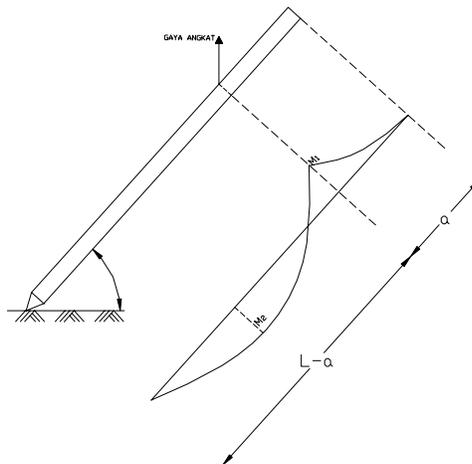
$$M_1 = \frac{1}{2} q * a^2$$

$$M_2 = \frac{1}{8} * \left( q(l - 2a)^2 - \frac{1}{2} q * a^2 \right)$$

$$\frac{1}{2} q * a^2 = \frac{1}{8} * \left( q(l - 2a)^2 - \frac{1}{2} q * a^2 \right)$$

$$4a^2 + 4aL - L^2 = 0$$

• **Kondisi II**



**Gambar 2-12 Pengangkatan Tiang Pancang Dengan 1 Titik**

$$M_1 = \frac{1}{2} * q * a$$

$$R_1 = \frac{1}{2}q(L-a) - \left( \frac{\frac{1}{2}L^2 - 2aL}{(L-a)} \right)^2 = \left( \frac{qL^2 - 2q \cdot a \cdot L}{2(L-a)} \right)$$

$$Mx = R_1 \cdot x - \frac{1}{2} \cdot q \cdot x^2$$

$$M \text{ max} \rightarrow \frac{dMx}{dx} = 0$$

$$R_1 - qx = 0$$

$$x = \frac{R_1}{q} = \frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)}$$

$$\begin{aligned} M \text{ max} &= M_2 = R \left( \frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)} \right) - \frac{1}{2}q \cdot \left( \frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)} \right)^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{q(L^2 - 2aL)}{2(L-a)} \end{aligned}$$

$$M_1 = M_2$$

$$\frac{1}{2} \cdot qa^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{q(L^2 - 2aL)}{2(L-a)}$$

$$2a^2 - 4aL + L^2 = 0$$

## 2. Akibat Pemancangan (Tumbukan Hammer)

Jenis yang digunakan tipe K-35 dengan berat hammer 3,5 ton, dihitung daya dukung satu tiang

Rumus tumbukan :

$$R = W_r \cdot H / \emptyset \cdot (S + C)$$

Dengan :

R = Kemampuan daya dukung pile akibat tumbukan

W = Berat palu = 3,5 ton

H = Tinggi jatuh = 1,5 m

S = Final settlement rata-rata = 10 cm

C = Koefesien untuk double acting sistem hammer = 0,1

#### **2.5.4 Dasar Perhitungan dan Pedoman Perencanaan**

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

1. Tata Cara Perhitungan Beton Untuk Bangunan Gedung (SKSNI T-15-1991-03)
2. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI-1726-2002)
3. Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung (SKBI – 1.3.53.1987)
4. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PIIG) 1983
5. Peraturan – peraturan lain yang relevan.