

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 TINJAUAN UMUM

Dalam analisa struktur bangunan gedung kantor PT. Mata Pelangi Chemindo, Jakarta Barat ini, studi pustaka dimaksudkan untuk mengetahui dasar-dasar teori perhitungannya. Tujuannya adalah untuk memberi dasar teori bagi perhitungan struktur gedung dalam tugas akhir ini. Dalam kajian ini akan dibahas mengenai aspek perencanaan, metode perhitungan, spesifikasi bahan, analisa pembebanan, dan analisa perhitungan.

2.2 ASPEK-ASPEK PERENCANAAN

Desain struktural berkaitan erat dengan desain gedung secara keseluruhan., antara sistem struktural yang digunakan dengan tujuan desain (tujuan yang dikaitkan dengan masalah arsitektural, efisiensi, serviceability, kemudahan pelaksanaan, dan biaya).

Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam pemilihan struktur adalah :

a. Aspek Teknis

Dalam merencanakan dan memilih struktur dipertimbangkan kemampuan terhadap beban yang harus dipikul oleh struktur tersebut. Selain itu juga harus disesuaikan dengan keadaan tanah dilokasi yang akan direncanakan, untuk merencanakan jenis struktur yang akan digunakan.

b. Aspek Fungsi

Dalam merencanakan struktur gedung ini juga melihat fungsi gedung yang akan di bangun.

c. Aspek Finansial

Dalam perencanaan struktur bangunan selain memiliki syarat kuat, juga harus mempertimbangkan dana yang dibutuhkan untuk mendapatkan struktur bangunan yang baik dan memenuhi persyaratan, tetapi dengan desain yang ekonomis.

d. Aspek Estetika dan Arsitektural

Aspek ini berkaitan dengan rencana denah dan bentuk struktur yang akan dipilih. Bentuk denah dan struktur yang akan digunakan ini haruslah mempunyai nilai estetika dan artistik yang baik.

e. Aspek kekuatan dan stabilitas struktur

Berkaitan dengan kemampuan struktur untuk menerima beban-beban yang bekerja baik beban vertikal maupun beban lateral, dan kesetabilan struktur baik arah vertical maupun arah lateral.

f. Aspek Pelaksanaan dan Pemeliharaan

Pemilihan Struktur yang digunakan harus mempertimbangkan kemudahan dalam pelaksanaan dan pemeliharaan struktur. Hal ini sangat membantu dalam pencapaian struktur bangunan yang sesuai dengan persyaratan yang diharuskan.

g. Aspek Lingkungan dan Sosial Masyarakat.

Dalam perencanaan dan pelaksanaan suatu proyek tidak boleh menimbulkan dampak yang merusak bagi lingkungan baik fisik maupun sosial kemasyarakatan. Suatu proyek harus memiliki pengaruh yang baik bagi lingkungan dan sosial masyarakat.

2.3 SPESIFIKASI BAHAN

Spesifikasi bahan adalah material yang digunakan untuk struktur utama yang meliputi beton, baja, dan tulangan. Adapun spesifikasinya adalah sebagai berikut :

1. Mutu beton ($f'c$) : 30 Mpa
2. Mutu baja ($f'y$) : BJ 37
3. Mutu tulangan (f_y) : 400 Mpa dan 240 Mpa

2.4 METODE PERHITUNGAN

a. Perhitungan Atap

Perhitungan untuk atap kuda-kuda baja berdasarkan SNI 03-1729-2002 dan dianalisa dengan SAP 2000.

b. Perhitungan elemen struktur

Perhitungan dimensi dan penulangan pelat, balok, tangga, dan kolom dilakukan dengan mengacu pada Tata Cara Perhitungan Beton untuk Bangunan Gedung (SK SNI T – 15 – 1991 – 03) dan juga literatur-literatur lain yang mendukung.

c. Menghitung Mekanika Portal

Perhitungan mekanika portal menggunakan SAP 2000 dengan analisa 3D

d. Perhitungan Pondasi

Gedung ini direncanakan menggunakan pondasi tiang pancang dengan perhitungan menggunakan metode kapasitas daya dukung.

2.5 RENCANA PEMBEBANAN

2.5.1 Beban-beban yang diperhitungkan

Pembebanan yang dipakai dalam perencanaan struktur gedung ini sesuai dengan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk gedung 1983, antara lain sebagai berikut :

1. Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian pada suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang terpisahkan dari gedung itu. Termasuk beban mati disini adalah beban akibat berat sendiri dari bahan-bahan bangunan gedung, sebagai contoh berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung adalah :

- Beton bertulang : 2400 kg/m³
- Dinding pasangan bata merah ½ batu : 250 kg/m³
- Berat finishing lantai : 114 kg/m²
- Berat plafond dan rangka : 18 kg/m²
- Berat penutup atap : 10 kg/m²

2. Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan didalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin – mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat di ganti selama masa hidup gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap gedung tersebut.

Yang termasuk beban hidup adalah :

- Beban pada lantai
- Untuk ruang kantor (Lt 1s/d Lt 5) : 250 kg/m²

- Untuk ruang serba guna (Lt 6) : 400 kg/m²
- Beban pada lantai parkir : 800 kg/m²
- Lantai atap : 250 kg/m²
- Beban akibat air hujan : 20 kg/m²
- Beban atap yang dapat dibebani orang : 100 kg/m²
- Beban terpusat pekerja dan peralatannya : 100 kg

3. Beban Angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Beban angin ditunjukkan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan tekanan negatif ini dinyatakan dalam kg/m², ditentukan dengan mengalikan tekanan tiup yang telah ditentukan dengan koefisien-koefisien angin yang telah ditentukan dalam peraturan ini. Tekanan tiup di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai adalah 40 kg/m², sedang untuk koefisien angin tergantung pada sudut kemiringan atap dan dinding vertikalnya.

4. Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang meniru pengaruh gerakan tanah akibat gempa itu.

Dalam hal ini pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dalam gempa disini adalah gaya-gaya didalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu. Pada saat terjadi gempa, suatu struktur akan mengalami getaran gempa dari lapisan tanah dibawah dasar bangunannya secara acak dalam berbagai arah. Apabila struktur tersebut

sangat kaku atau dengan kata lain memiliki waktu getar alami T yang mendekati 0 detik, maka besarnya gaya inersia yang timbul akibat gempa dan yang bekerja pada titik pusat masa adalah :

$$F = m \times a$$

Dimana : m = massa bangunan

a = percepatan getaran gempa

Sedangkan menurut pedoman perencanaan ketahanan Gempa untuk rumah dan gedung adalah :

$$V = C \times I \times K \times W$$

Sumber : SNI 03 – 1726 – 2002 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung

Dimana :

V = gaya geser total akibat gempa

C = Koefisien gempa dasar

I = Faktor keutamaan

K = Faktor jenis struktur

W = Berat total bangunan

Besarnya taraf pembebanan ini tidak berlaku universal, melainkan sangat bervariasi dari satu wilayah ke wilayah lain, tergantung dari kondisi geografis dan geologis setempat. Dalam wilayah Indonesia terdapat beberapa daerah dengan perbedaan risiko gempa yang cukup berarti.

Dengan pertimbangan bahwa tinggi gedung < 40 m, maka perencanaan struktur didasarkan pada Analisa Beban Statik Ekuivalen, yaitu suatu analisa dimana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban-beban statik horizontal untuk meniru beban-beban gempa sesungguhnya.

Untuk memulai perhitungan distribusi gaya gempa bias dimulai dengan menghitung berat tiap lantai (berat mati + berat hidup), waktu getar bangunan (T) yang dihitung dengan :

$$T = 0.06H^{3/4} \longrightarrow \text{untuk portal beton tanpa pengaku.}$$

Koefisien gempa dasar (C) diperoleh dari diagram respon spektra, faktor keutamaan struktur (I) dan faktor jenis struktur (K) dapat ditentukan dari fungsi gedung dan jenis struktur yang dipakai.

Gaya geser horizontal total diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$V = C \times I \times K \times W$$

Sumber : SNI 03 – 1726 – 2002 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung

Gaya geser tersebut lalu didistribusikan pada tiap tingkat dengan menggunakan persamaan :

$$F_i = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum (W_i \cdot h_i)} \cdot V$$

Sumber : SNI 03 – 1726 – 2002 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung

Dimana :

F_i = Gaya geser horizontal pada lantai ke-i

H_i = Tinggi lantai ke-i terhadap lantai dasar

V = Gaya geser total akibat gempa

Waktu getar alami struktur diperoleh dengan rumus T Rayleigh :

$$T = 6,3 \cdot \left[\frac{\sum (W_i \cdot d_i)^2}{g \cdot \sum (F_i \cdot d_i)} \right]^{1/2}$$

Sumber : SNI 03 – 1726 – 2002 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung

Dimana:

- W_i = Berat lantai ke-i
 F_i = Gaya gempa lantai ke-i
 D_i = Deformasi lateral akibat F_i yang terjadi pada lantai ke-i
 g = percepatan gravitasi

Jika waktu getar alami (T) < T taksiran, maka distribusi gaya gempa pada tiap lantai harus dihitung kembali.

2.5.2 Faktor Beban

Ketidakpastian besarnya beban mati pada struktur lebih kecil dibandingkan dengan ketidakpastian pada beban hidup. Hal ini dapat menimbulkan perbedaan dari besar faktor-faktor beban. Menurut SKSNI T-15-1991-03 beban yang bekerja pada struktur harus dikalikan dengan faktor beban sebagai berikut :

Untuk beban mati (D) = 1.2 dan beban hidup (L) = 1.6

Pembebanan ditinjau dari kondisi pembebanan yaitu :

- Pembebanan tetap

$$U = 1.2 D + 1.6 L$$

- Pembebanan sementara, dengan perhitungan beban gempa :

$$U = 1.05 (D + L_r \pm E)$$

$$U = 0.9 (D \pm E)$$

Sumber : SKSNI T-15-1991-03

Dimana : U	=	Beban terfaktor
D	=	Beban mati
L	=	Beban hidup
E	=	Beban gempa

2.6 ANALISA PERHITUNGAN

Dalam perencanaan struktur harus melalui tahapan-tahapan perencanaan mulai dari struktur atas (upper structure) sampai ke struktur bawah (Sub Structure).

Adapun tahapan-tahapan perencanaan tersebut adalah sebagai berikut :

- a. langkah-langkah dalam perencanaan struktur atas (upper structure) adalah :
 - Penentuan denah dan konfigurasi struktur berikut sistem strukturnya.
 - Penentuan beban-beban yang bekerja pada struktur baik beban grafitasi / vertikal maupun beban lateral / gempa.
 - Estimasi dimensi elemen struktur.
 - Analisa struktur bangunan.
 - Desain elemen struktur seperti kolom dan balok, balok anak, pelat lantai dan sebagainya.
- b. Langkah-langkah dalam perencanaan struktur bawah (sub structure)
 - Analisa dan penentuan parameter tanah.
 - Pemilihan jenis pondasi yang akan digunakan.
 - Analisa beban-beban yang bekerja pada pondasi.
 - Estimasi dimensi pondasi.
 - Perhitungan daya dukung pondasi.

Struktur atas diperhitungkan sebagai rangka terbuka (open frame), yaitu kekuatan hanya ditentukan oleh rangka dimana elemennya bersifat independent, sedangkan dinding dan struktur pendukung lainnya dianggap tidak memberikan pengaruh pada struktur utama dalam menerima beban yang bekerja.

2.6.1 Atap

Dasar perencanaan kuda-kuda yang menggunakan konstruksi baja mengacu pada SNI 03 – 1729 – 2002, dengan analisis metode LRFD (Load and Resistance Factor Design).

Dalam metode LRFD, struktur baja harus memenuhi $R_u \leq \phi R_n$ dengan pengaruh beban terfaktor R_u dengan kombinasi sebagai berikut :

$$\checkmark 1.2 D + 1.6 L + 0.5 (L_a \text{ atau } H)$$

R_n (tahanan nominal) dikalikan dengan factor tahanan ϕ sesuai table

Komponen Lentur	Factor Tahanan ϕ
Lentur	0.90
Tekan aksial	0.85
Tarik aksial	
- Tarik leleh	0.90
- Tarik fraktur	0.75
Aksi – aksi kombinasi	
- Lentur dan geser	0.90
- Tarik	0.90
- Tekan	0.85

(Sumber : SNI 03 – 1729 – 2002)

Tabel 2-1 Faktor Reduksi Beban

Adapun analisa struktur baja cara LRFD mempertimbangkan kompak atau tidaknya penampang yang ditentukan dengan table berikut :

Jenis Elemen		Perbandingan Lebar Terhadap Tebal (λ)	Perbandingan Maksimum Lebar Terhadap Tebal	
			λ_p (kompak)	λ_r (tidak kompak)
Elemen dengan pengaku	Pelat sayap balok-I dank anal dalam lentur	b/t	$170/\sqrt{f_y}$	$370/\sqrt{f_y - f_r}$
	Pelat sayap balok-I hibrida atau balok tersusun yang dilas dalam lentur	b/t	$170/\sqrt{f_{yf}}$	$\frac{420}{\sqrt{(f_{yf} - f_r)/k_e}}$
	Pelat sayap dari komponen-komponen struktur tersusun dalam tekan	b/t	-	$290/\sqrt{f_y/k_e}$
	Sayap bebas dari profil siku kembar yang menyatu pada sayap lainnya, pelat sayap dari komponen kanal dalam aksial tekan, profil siku dan plat yang menyatu dengan balok atau komponen struktur tekan	b/t	-	$250/\sqrt{f_y}$
	Sayap dari profil siku tunggal pada penyokong, sayap dari profil siku ganda dengan pelat kopel pada	b/t	-	$200/\sqrt{f_y}$

	penyokong, elemen yang tidak diperkaku, yaitu yang ditumpu pada salah satu sisinya.			
	Pelat badan dari profil T	d/t	-	$335/\sqrt{f_y}$
Elemen dengan pengaku	Pelat sayap dari penampang persegi panjang dan bujursangkar berongga dengan ketebalan seragam yang dibebani lentur atau tekan: pelat penutup dari pelat sayap dan pelat diafragma yang terletak diantara baut-baut atau las	b/t	$500/\sqrt{f_y}$	$625/\sqrt{f_y}$
	Bagian lebar yang tak terkekang dari pelat penutup berlubang	b/t	-	$800/\sqrt{f_y}$
	Bagian-bagian pelat badan dalam tekan akibat lentur	h/t_w	$1.680/\sqrt{f_y}$	$2.550/\sqrt{f_y}$
	Bagian-bagian pelat badan dalam kombinasi tekan dan lentur	h/t_w	Untuk $N_u / \phi_b N_y \leq 0,125$ $\frac{1.680}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{2,75 N_u}{\phi_b N_y} \right]$	$\frac{2.550}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{0,74 N_u}{\phi_b N_y} \right]$

			Untuk $N_u / \phi_b N_y > 0,125$ $\frac{500}{\sqrt{f_y}} \left[2,33 - \frac{N_u}{\phi_b N_y} \right]$	
	Elemen-elemen lainnya yang diperkaku dalam tekan murni: yaitu dikekang sepanjang sisinya	b/t h/t _w	-	$655 / \sqrt{f_y}$
	Penampang bulat berongga pada tekan aksial pada lentur	D/t	- $14.800 / \sqrt{f_y}$	$22.000 / \sqrt{f_y}$ $62.000 / \sqrt{f_y}$

(Sumber : SNI 03 – 1729 – 2002)

Tabel 2-2 Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan

Langkah langkah analisa metode LRFD adalah sebagai berikut :

1. Cek kapasitas penampang.

$$\checkmark W = 1.2 D + 1.6 L + 0.5 (L_a \text{ atau } H)$$

$$\checkmark M = \text{Momen akibat beban } W$$

$$\checkmark S_x = \frac{M}{\phi(f)F_y}$$

(Sumber : SNI 03 – 1729 – 2002)

dimana : S_x = Momen lawan

M = Momen maksimum akibat W

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

f = Shape Faktor

F_y = Tegangan leleh baja

2. Analisis Elastis, jika penampang tidak kompak (untuk penampang-penampang yang memenuhi $\lambda \leq \lambda_p$)

$$\checkmark \bar{\sigma} = \frac{\sigma_y}{1.5}$$

$$\checkmark M_E = W_E \times \bar{\sigma}$$

(Sumber : SNI 03 – 1729 – 2002)

dimana : $\bar{\sigma}$ = Tegangan ijin

σ_y = Tegangan leleh baja

M_E = Kapasitas momen elastis

W_E = Momen lawan

3. Analisis Plastis, jika penampang kompak (untuk penampang-penampang yang memenuhi $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$)

$$\checkmark M_p = (f \times S)F_y$$

dimana : M_p = Kapasitas Momen plastis

f = Shape factor

S = Momen lawan

F_y = Tegangan leleh baja

$$\checkmark M_{desain} = \phi \times M_n \rightarrow M_{desain} > M \dots \dots OK$$

(Sumber : SNI 03 – 1729 – 2002)

4. Stabilitas terhadap tekuk torsi lateral

$$\checkmark L_p = 1.76r_y \sqrt{EIf_y} \text{ dimana } r_y = \sqrt{I_y/A}$$

$$\checkmark L_r = r_y \left[\frac{X_1}{f_l} \right] \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 f_L^2}}$$

(Sumber : SNI 03 – 1729 – 2002)

dimana :

$$f_L = f_y - f_r \quad ; \quad X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} \quad ; \quad X_2 = 4 \frac{C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{GJ} \right)^2$$

E = modulus elastis baja

$C_w = I_w$ = konstanta warping

G = modulus geser baja

J = konstanta torsi

5. Koefisien momen lentur

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 2.3$$

(Sumber : SNI 03 – 1729 – 2002)

M_{\max} , M_A , M_B , dan M_C adalah adalah nilai absolute dari momen maksimum, momen di $1/4$, $1/2$, dan $3/4$ bentang

Analisa gaya dilakukan dengan Program SAP 2000. Konstruksi atap harus diperiksa terhadap tegangan dan lendutan, dimana tegangan yang terjadi harus lebih kecil dari tegangan ijinnya, demikian juga lendutan yang terjadi harus lebih kecil dari syarat lendutan maksimum yang diijinkan.

Pembebanan pada atap mengacu pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung Tahun 1983.

Dalam perencanaan direncanakan sambungan dengan alat sambung baut dan hanya akan ditinjau sebagian saja.

Tegangan-tegangan yang diijinkan dalam menghitung kekuatan baut adalah sebagai berikut :

$$\text{Tegangan geser yang diijinkan} : \bar{\tau} = 0.6 \cdot \bar{\sigma}$$

$$\text{Tegangan tarik yang diijinkan} : \bar{\sigma}_{tarik} = 0.7 \cdot \bar{\sigma}$$

Kombinasi tegangan geser dan tegangan tarik yang diijinkan :

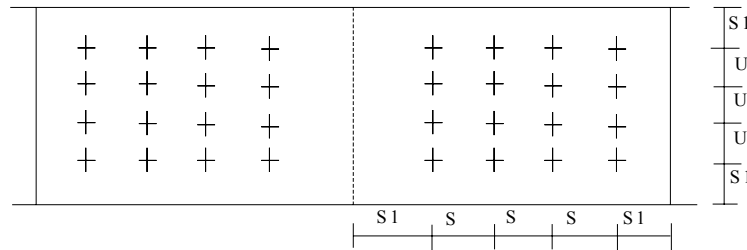
$$\sigma_1 = (\sigma^2 + 1.56\tau^2)^{1/2} \leq \bar{\sigma}$$

Sambungan yang digunakan merupakan sambungan irisan dua sehingga harus memenuhi syarat-syarat :

$$\delta/d < 0.628 \longrightarrow \text{pengaruh desak}$$

✓ Jika sambungan terdiri lebih dari satu baris baut yang tidak berseling maka:

- $d \leq s \leq 7d$ atau $14t$
- $d \leq u \leq 7d$ atau $14t$
- $1.5d \leq s_1 \leq 3d$ atau $6t$

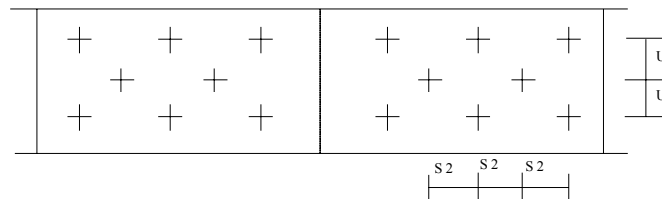


(Sumber : SK SNI T - 15 - 1991 - 03)

Gambar 2-1 Sambungan Baut

✓ Jika sambungan terdiri lebih dari satu baris baut yang berseling maka:

- $2.5d \leq u \leq 7d$ atau $14t$
- $s_2 \geq 7d - 0.5u$ atau $14t - 0.5u$



(Sumber : SK SNI T - 15 - 1991 - 03)

Gambar 2-2 Sambungan Baut

Dimana :

- d = diameter baut (mm)
- t = tebal terkecil bagian yang disambung (mm)
- s₁ = jarak dari sumbu baut yang paling luar ke tepi bagian yang disambung. (mm)
- s₂ = jarak antara satu baut dengan baut terdekat pada baris lain (mm)
- u = jarak antara baris - baris baut (mm)

2.6.2 Pelat

Pelat merupakan bidang yang datar (tidak melengkung) yang jika ditinjau secara tiga dimensi mempunyai tebal yang jauh lebih kecil dari ukuran bidang pelat.

Pelat lantai pada bangunan mempunyai fungsi antara lain :

- Memisahkan ruangan dalam bangunan secara vertikal.
- Menahan beban di atasnya, seperti dinding, partisi atau sekat lainnya dan beban hidup.
- Menyalurkan beban ke balok bawahnya.

Langkah perencanaan penulangan pelat adalah sebagai berikut ini:

1. Menentukan syarat-syarat batas, tumpuan dan panjang bentang.
2. Menentukan tebal pelat. Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 maka tebal ditentukan berdasarkan ketentuan sebagai berikut:

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

$$h \leq \frac{\ln\left(0.8 \frac{f_y}{1500}\right)}{36}$$

Dimana: $\beta = L_y / L_x$

L_n = panjang bersih pelat

3. Memperhitungkan beban-beban yang bekerja pada pelat lantai.
4. Tentukan L_y/L_x
5. Tentukan momen yang menentukan (M_u)
 - M_{lx} (momen lapangan arah-X)
 - M_{tx} (momen tumpuan arah-X)
 - M_{ly} (momen lapangan arah-Y)
 - M_{ty} (momen tumpuan arah-Y)
 - $M_{tlx} = 0,5 M_{lx}$ (momen jepit tak terduga arah-X)
 - $M_{tly} = 0,5 M_{ly}$ (momen jepit tak terduga arah-Y)
6. Hitung penulangan arah-X dan arah-Y

Data – data yang diperlukan :

- Tebal pelat (h)
- Tebal selimut beton (c_v)
- Momen (M_u)
- Diameter tulangan
- Tinggi efektif (d_x dan d_y)

a.
$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

b.
$$K = \frac{M_n}{b.d.RI}$$

c.
$$F = 1 - \sqrt{1 - 2K}$$

d.
$$F_{max} = \beta \times 450 \times (600 + f_y)$$

e. Jika $F > F_{max}$ maka digunakan tulangan ganda

- f. Jika $F < F_{max}$ maka:
- g. $A_s = F \times b \times d \times RI/y$
- h. A_s terpasang bisa ditentukan
- i. Pemeriksaan tulangan

- $\rho_{max} = \beta_1 \cdot \frac{450}{600 + f_y} \cdot RI \cdot f_y$

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

- $\rho = \frac{A_{sterpasang}}{b \cdot d}$

- Kontrol: $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

Jika $\rho < \rho_{min}$ digunakan rumus $A_s = \rho_{min} \times b \times d$

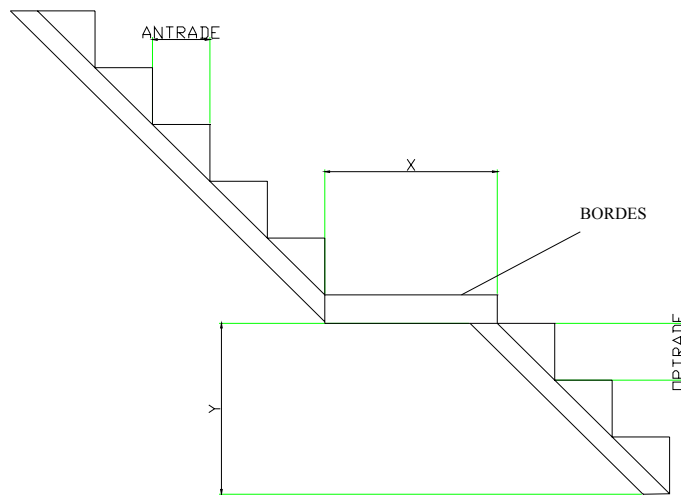
Dalam laporan ini pengerjaan pelat menggunakan perhitungan sesuai tabel CUR I, dengan mengklasifikasikan jenis tumpuan pelat sesuai dengan skema yang ada pada tabel. Setelah itu, baru dapat ditentukan rumus untuk menghitung gaya-gaya dalam berupa momen tumpuan maupun lapangan. (Sumber : SK SNI T – 15 – 1991 – 03)

2.6.3 Tangga dan Lift

Untuk perencanaan tangga, rumus yang digunakan:

Perhitungan *Optrade* (O) dan *Antrede* (A) tangga dengan menggunakan rumus :

$$2 * O + A = 61 \sim 65$$



Gambar 2-3 Model Struktur Tangga

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Y}{X} = \frac{O}{A}$$

Sehingga $O = \tan \alpha * A$

Dimana $O = \text{Optrade}$

$A = \text{Antrede}$

$$\text{Jumlah Antrade} = \frac{X}{A}$$

$$\text{Jumlah Optrade} = \frac{Y}{O}$$

Analisa gaya gaya dalam pada tangga menggunakan program SAP 2000. Sedangkan dalam perencanaan lift dilakukan dengan analisa terhadap konstruksi ruang tempat lift dan juga perhitungan balok penggantung katrol lift.

2.6.4 Perhitungan Mekanika Portal

Dalam perhitungan mekanika portal dilakukan dengan program SAP 2000 untuk mendapatkan gaya-gaya dalam dan reaksi – reaksi tumpuan dari elemen struktur.

2.6.5 Struktur Portal

struktur diatur menurut ketentuan berikut:

1. Beban hidup dianggap hanya bekerja pada lantai atau atap yang sedang ditinjau dan ujung kiri dari kolom yang bersatu dengan struktur boleh dianggap terjepit.
2. pengaturan dari beban hidup yang bekerja pada balok menggunakan pola pembebanan papan catur dan boleh dibatasi pada kombinasi berikut :

beban mati terfaktor pada semua bentang dengan beban Perencanaan struktur portal mengacu pada SKSNI T-15-1991-03. Dimana struktur dirancang sebagai portal daktail dengan penempatan sendi – sendi plastis pada balok (*strong column-weak beam*).

Dalam menentukan kuat rencana suatu komponen struktur, maka kuat minimalnya harus direduksi dengan faktor reduksi kekuatannya sesuai dengan sifat beban, hal ini dikarenakan adanya ketidakpastian kekuatan bahan terhadap pembebanan.

Faktor reduksi ϕ menurut SKSNI T-15-1991-03 adalah sebagai berikut

- $\phi = 0.8$, untuk beban lentur tanpa gaya aksial
 - $\phi = 0.7$, untuk gaya aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur
 - $\phi = 0.8$, untuk gaya aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur
 - $\phi = 0.6$, untuk geser dan torsi
- ✓ Beban hidup yang bekerja pada komponen hidup penuh terfaktor yang bekerja pada dua bentang yang bersebelahan.
 - ✓ Beban mati terfaktor pada semua bentang dengan beban hidup penuh terfaktor pada bentang yang berselang.

2.6.5.1 Perencanaan Struktur Balok portal

Pada perencanaan balok maka pelat dihitung sebagai beban dimana dalam program SAP 2000 pelat diikatkan pada balok sehingga dalam analisisnya akan membebani balok.

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

Perhitungan Balok

Dimensi :

B, h, d

Untuk $h > b$, maka $x = b$, $y = h$

$X_1 = b - \text{cover}$

$Y_1 = h - \text{cover}$

Untuk $h < b$, maka $x = h$, $y = b$

$X_1 = h - \text{cover}$

$Y_1 = b - \text{cover}$

Jarak sengkang min

$S \leq d/2$

$S \leq 600 \text{ mm}$

Jika $T_u \leq \theta \frac{1}{24} \sqrt{f_c'} \sum x^2 y$ maka :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b d \text{ atau}$$

$$V_c = \frac{1}{7} \left(\sqrt{f_c'} + 120 \rho \frac{V_{ud}}{M_u} \right) b d$$

$$V_c < 0,3 \sqrt{f_c'} b d$$

Jika tidak maka:

$$C_t = \frac{b d}{\left(\sum x^2 y \right)}$$

$$V_c = \frac{\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b d}{\sqrt{1 + \left(2,5 C_t \frac{T_u}{V_u} \right)^2}}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\theta} - V_c$$

Jika $V_s \leq 0$ maka , teoritis tidak perlu tulangan geser

Jika $V_s > \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} b d$ maka, perbesar dimensi

Jika $V_s > \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} b d$

$$S_{\max} \leq \frac{(x_1 + y_1)}{4}$$

$$\leq 300 \text{ mm}$$

Penulangan geser

$$A_v = \frac{V_s \times S}{f_y \times d \times \sin^2 \alpha (\cot \alpha + \cot \beta)}$$

Untuk $\beta = 90^\circ$ dan $\alpha = 45^\circ$

$$A_v = \frac{V_s \times S}{f_y \times d} \Rightarrow \frac{A_v}{S} = \frac{V_s}{f_y \times d}$$

$f_y < 400 \text{ Mpa}$

$$\text{Jika } T_u > \theta \frac{1}{20} \sqrt{f_c'} \Sigma x^2 y$$

$$T_c = \frac{\frac{1}{15} \sqrt{f_c'} \Sigma x^2 y}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4 \times V_u}{t \times T_u} \right)^2}}$$

Jika $T_u \leq \theta \frac{1}{20} \sqrt{f_c'} \Sigma x^2 y$ maka, teoritis tidak perlu tulangan puntir

$$T_s = \frac{T_u}{\theta} - T_c$$

Jika $T_s > 4T_c$ maka;

$$\alpha_t = \frac{\left(2 + \frac{y_1}{x_1} \right)}{3} \leq 1,5$$

2.6.5.2 Perencanaan Struktur 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 dipusat titik berat penampang, tetapi terdapat eksentrisitas jarak sebesar “e” dari pusat beban kepusat 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 dan baja im menggunakan program *SAP2000*. Prosedur desain elemen-elemen kolom dari struktur beton bertulang dengan *SAP 2000* terdiri dua tahap sebagai berikut:

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

2.6.6 Pondasi

Dalam perencanaan pondasi untuk suatu konstruksi dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Pemilihan tipe pondasi ini didasarkan atas:

- Fungsi bangunan atas yang akan dipikul oleh pondasi tersebut
- Besarnya beban dan beratnya bangunan atas
- Keadaan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan
- Biaya pondasi dibandingkan biaya bangunan atas

Pemakaian tiang pancang digunakan untuk pondasi suatu bangunan bila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya atau bila tanah keras yang mampu memikul berat bangunan dan bebannya letaknya sangat dalam.

2.6.6.1 Penentuan Parameter Tanah

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 tanah. Pekerjaan ini dilakukan di laboratorium dan di lapangan.

Maksud dari penyelidikan dan penelitian tanah adalah melakukan investigasi pondasi rencana bangunan sehingga dapat dipelajari susunan lapisan tanah yang ada serta sifat-sifat yang berkaitan dengan jenis bangunan yang akan dibangun di atasnya.

2.6.6.2 Daya dukung tanah

Analisis daya dukung tanah merupakan Perusahaan Jasa Tenaga Kerja Indonesia untuk mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi struktur yang terletak di atasnya. Daya dukung tanah (bearing capacity) adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban baik dari segi struktur pondasi maupun bangunan di atasnya tanpa terjadinya keruntuhan geser. Daya

dukung batas (ultimate bearing capacity) adalah daya dukung terbesar dari tanah dan diberi simbol q_{ult} . Daya dukung ini merupakan kemampuan tanah mendukung beban, dimana diasumsikan tanah mulai mengalami keruntuhan. Besarnya daya dukung tanah yang diijinkan sama dengan daya dukung batas dibagi angka keamanan.

Perencanaan pondasi harus dipertimbangkan terhadap keruntuhan geser dan penurunan yang berlebihan. Untuk terjaminnya stabilitas jangka panjang, perhatian harus diberikan pada peletakan 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.

2.6.6.3 Metode analisis kapasitas daya dukung tiang pancang.

Analisa-analisa kapasitas daya dukung dilakukan dengan cara pendekatan untuk memudahkan hitungan. Persamaan-persamaan yang dibuat, dikaitkan dengan sifat-sifat tanah dan bentuk bidang geser yang terjadi saat keruntuhan.

1. Daya dukung vertikal yang diijinkan

a. Berdasarkan hasil sondir

Tes sondir atau Cone Penetration (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 tanah berkerikil dan lempung keras.

Berdasarkan faktor pendukungnya, daya dukung tiang pancang dapat digolongkan sebagai berikut :

➤ End Bearing Pile

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

daya dukung tanah terhadap tiang adalah :

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

Sumber : *Mekanika Tanah, Dr. Ir. L. D. Wesley, 1977*

Dimana:

Q_{tiang} = daya dukung keseimbangan tiang

A_{tiang} = luas penampang tiang

P = nilai konus dari hasil sondir

3 = faktor keamanan

➤ Kemampuan tiang terhadap kekuatan bahan :

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

Sumber : *Mekanika Tanah, Dr. Ir. L. D. Wesley, 1977*

Dimana:

P tiang	=	kekuatan yang diijinkan pada tiang
σ tiang	=	tegangan tekan ijin bahan tiang
A tiang	=	luas penampang tiang

➤ Friction Pile

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

Persamaan daya dukung yang diijinkan terhadap tiang adalah:

$$Q_{\text{tiang}} = (O * L * C) / 5$$

Sumber : Mekanika Tanah, Dr. Ir. L. D. Wesley, 1977

Dimana:

Q tiang	=	daya dukung tiang pancang
O	=	keliling tiang pancang
L	=	panjang tiang pancang yang masuk dalam tanah
C	=	harga cleef rata-rata
5	=	faktor keamanan

➤ End bearing and Friction Pile

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

$$Q_{\text{tiang}} = \frac{A_{\text{tiang}} * P}{3} + \frac{O * L * C}{5}$$

Sumber : Mekanika Tanah, Dr. Ir. L. D. Wesley, 1977

Dimana:

Q tiang	=	daya dukung keseimbangan tiang
P	=	nilai konus dari hasil sondir
O	=	keliling tiang pancang
L	=	panjang tiang pancang yang berada dalam tanah
C	=	harga cleef rata-rata

b. Berdasarkan hasil SPT

Standard Penetration Test menghasilkan suatu nilai N (banyaknya pukulan) pada kedalaman tertentu. Daya dukung tiang pada tanah pondasi umumnya diperoleh dari jumlah daya dukung terpusat dan tahanan geser pada dinding. Besarnya daya dukung yang diijinkan R_a , diperoleh dari persamaan berikut :

$$R_a = \frac{1}{n} * R_u$$

$$= \frac{1}{n} * (R_p + R_f)$$

Sumber : *Mekanika Tanah, Dr. Ir. L. D. Wesley, 1977*

Dimana:	n	=	faktor keamanan
	R_u	=	daya dukung batas pada tanah pondasi
	R_p	=	daya dukung terpusat tiang
	R_f	=	gaya geser dinding tiang
	R_u	=	$q_d * A + U * \sum I_i * f_i$
	q_d	=	daya dukung terpusat tiang
	A	=	luas ujung tiang
	U	=	panjang keliling tiang

l_i = tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tanah

f_i = besarnya gaya geser maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang.

Perkiraan satuan daya dukung terpusat q_d diperoleh dari hubungan antara L/D dan $q_d/N * L$ adalah panjang ekivalen penetrasi pada lapisan pendukung, D adalah diameter tiang, N adalah harga rata-rata N pada ujung tiang, yang didasarkan pada persamaan berikut :

$$N = (N_1 + N_2)/2$$

Sumber : Mekanika Tanah, Dr. Ir. L. D. Wesley, 1977

Dimana:

N = harga N rata-rata untuk perencanaan tanah pondasi pada ujung tiang.

N_1 = harga N pada ujung tiang

N_2 = harga rata-rata N pada jarak $4D$ dari ujung tiang

Dalam pelaksanaan jarang sekali dijumpai pondasi tiang pancang yang berdiri sendiri (single pile) saja, akan tetapi dari kelompok tiang (pile group). Dalam menentukan daya dukung kelompok tiang tidak cukup hanya dengan meninjau daya dukung tiang tunggal dikalikan dengan banyaknya tiang dalam kelompok tiang tersebut, sebab daya dukung kelompok tiang belum tentu sama dengan daya dukung tiang tunggal dikalikan dengan jumlah tiang karena adanya pengaruh faktor efisiensi. Seperti halnya pada tiang pancang yang berdiri sendiri, maka tiang pancang dalam kelompok menurut cara pemindahan beban ke tanah dapat dibagi dalam 2 bagian :

1. Kelompok Tiang End Bearing Piles

Perhitungan daya dukung tiang berdasarkan pada tahanan ujung, sehingga kemampuan tiang dalam kelompok sama dengan kemampuan tiang tunggal dikalikan dengan banyaknya tiang.

$$Q_{pq} = n * Q_s$$

Sumber : *Mekanika Tanah, Dr. Ir. L. D. Wesley, 1977*

Dimana:

Q_{pq}	=	daya dukung kelompok tiang
n	=	banyaknya tiang pancang
Q_s	=	daya dukung tiang tunggal

2. Kelompok Tiang Friction Pile

Daya dukung kelompok tiang dihitung berdasarkan cleef dan conus. Salah satu persamaan yang digunakan, dirumuskan berdasarkan efisiensi kelompok tiang pancang:

$$Q_f = E_{ff} * Q \text{ tiang (daya dukung tiang tunggal)}$$

$$E_{ff} = 1 - \frac{\theta}{90} \frac{m(n-1) + n(m-1)}{m+n}$$

Sumber : *Foundation Analysis and Design, Bowles, jilid 2, 1993*

Dimana:

E_{ff}	=	efisiensi 1 tiang pancang dalam kelompok tiang
θ	=	arc. tan d/s
D	=	diameter tiang pancang

- S = jarak antar tiang pancang (as ke as)
 m = jumlah baris
 n = jumlah tiang dalam satu baris

$$Q_{sp} = \frac{qc * Ab}{Fb} + \frac{c * U}{Fs}$$

Sumber : *Mekanika Tanah, Dr. Ir. L. D. Wesley, 1977*

- Dimana: Q_{sp} = daya dukung vertikal yang diijinkan untuk sebuah tiang tunggal
- qc = tahanan konus pada ujung tiang
- Ab = luas penampang ujung tiang
- U = keliling tiang
- c = tahanan geser (cleef) total sepanjang tiang
- Fb = faktor keamanan = 3.0
- Fs = faktor keamanan = 5.0

3. Daya Dukung Horisontal yang Diijinkan

Beban horisontal yang mungkin bekerja pada tiang adalah beban sementara, terutama diakibatkan beban gempa. Reaksi tiang terhadap beban horisontal ditentukan sekali oleh panjang tiang. Untuk tiang pendek dengan ($D/B < 20$) kegagalan disebabkan oleh runtuhnya tanah di sekeliling tiang, sedangkan pada tiang pancang ($D/B > 20$) kegagalan disebabkan oleh kerusakan struktural pada tiang.

Menurut Broms, daya dukung tiang pancang terhadap horisontal :

$$H_{sp} = (H_u / F_s)$$

Sumber : *Soil Mechanics and Foundations, J. V. Parcher and R. E. Means, 1967*

Dimana:

Hsp = daya dukung horisontal yang diijinkan

Hu = daya dukung batas horisontal

Fs = faktor keamanan (digunakan 2)

4. Pmax yang terjadi pada tiang akibat pembebanan

$$P_{\max} = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{M(x).Y_{\max}}{n_x \cdot \sum Y^2} \pm \frac{M(y).X_{\max}}{n_y \cdot \sum X^2}$$

Sumber : *Foundation and Analysis Design, Bowles, 1968*

Dimana :

Pmax = beban maksimal yang di terima oleh tiang pancang (Kg)

$\sum V$ = jumlah total beban normal.

M (x) = momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu x (Kg cm).

M (y) = momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu y (Kg cm)

n = banyak tiang pancang pada kelompok tiang (*pile group*).

Xmax = absis terjauh tiang pancang terhadap titik berat kelompok tiang (cm).

Ymax = ordinat terjauh tiang pancang terhadap titik berat kelompok tiang (cm).

nx = banyaknya tiang pancang dalam satu baris dalam arah sumbu X.

n_y = banyaknya tiang pancang dalam satu baris dalam arah sumbu Y.

$\sum x^2$ = jumlah kuadrat absis – absis tiang pancang (cm^2).

$\sum y^2$ = jumlah kuadrat ordinat – ordinat tiang pancang (cm^2)

Sedangkan besarnya beban yang di terima oleh masing – masing tiang pancang adalah

$$P_p = \frac{Q}{n}$$

Sumber : Foundation and Analysis Design, Bowles, 1968

Dimana :

P_p = beban yang di terima oleh masing - masing tiang pancang

Q = beban total yang di terima oleh kelompok tiang pancang (*pile group*)

N = jumlah tiang pancang dalam kelompok tiang pancang (*pile group*)

5. Kontrol settlement

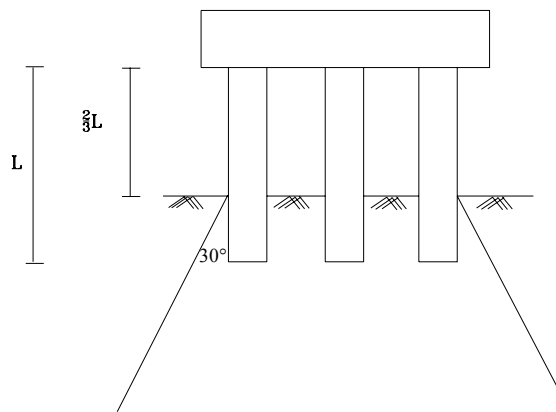
Dalam kelompok tiang pancang (*pile group*) ujung atas tiang – tiang tersebut dihubungkan satu dengan yang lain nya dengan poer yang kaku sehingga merupakan satu kesatuan yang kokoh. Dengan poer ini diharapkan bila kelompok tiang tersebut di bebani secara merata akan terjadi penurunan yang merata pula.

Kelompok tiang pancang yang di pancang sampai ke lapisan tanah keras akan mengalami penurunan yang kecil sehingga tidak mempengaruhi bangunan di atasnya. Kecuali bila di bawah lapisan keras tersebut

terdapat lapisan lempung, maka penurunan kelompok tiang perlu diperhitungkan.

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

Untuk kelompok tiang pancang yang daya dukungnya didasarkan atas geseran antar tiang dengan tanah (friction pile) perlu di adakan perhitungan settlement. Tegangan pada tanah akibat berat bangunan dan muatannya dapat di perhitungkan merata pada kedalaman 2/3 L (panjang tiang pancang) dan disebarakan dengan sudut penyebaran 30°.



Gambar 2-4 penurunan pada tiang pancang

Menurut Cheng Lim dan Jack B. Evett (1981), besarnya settlement pada tanah yang mengandung lempung adalah:

$$S = \frac{e_o - e}{1 + e_o} . H$$

Sumber : Soil and Foundation, Cheng Lim and Jack B. Evett, 1981

Dimana :

- S = settlement
 e_o = void rasio awal
 e = void rasio akhir
H = tebal lapisan tanah yang ditinjau

dapat juga di cari dengan memakai rumus

$$S = C_c \cdot \frac{H}{1 + e_o} \cdot \text{Log} \frac{P_o + \Delta P}{P_o}$$

Sumber : *Soil and Foundation, Cheng Lim and Jack B. Evett, 1981*

Dimana :

- C_c = *compressibility index*
 P_o = tekanan efektif sebelum ada bangunan
 ΔP = tekanan konsolidasi
 e_o = void rasio awal

sedangkan settlement pada tanah berpasir adalah :

$$S = H \cdot \frac{e_n - e_D}{e_n}$$

Sumber : *Soil Mechanics and Foundation, J.V.Parcher and R.E.Means, 1967*

dimana :

- S = settlement
H = tebal lapisan yang ditinjau

e_n = void ratio tanah setempat

e_d = void ratio tanah dalam keadaan padat

$$= \frac{V - V_s}{V_s}$$

$$V_s = \frac{W_s}{G_s}$$

V = volume tanah dalam keadaan padat

G_s = *specific gravity*