

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Umum

Tiang pancang adalah bagian-bagian konstruksi yang dibuat dari kayu, beton, dan baja, yang digunakan untuk meneruskan beban-beban permukaan ke tingkat-tingkat permukaan yang lebih rendah dalam massa tanah. Hal ini merupakan distribusi vertikal dari beban sepanjang poros tiang pancang atau pemakaian beban secara langsung terhadap lapisan yang lebih rendah melalui ujung tiang pancang. Distribusi muatan vertikal melalui sebuah gesekan, atau tiang pancang apung, sedangkan pemakaian beban secara langsung dibuat oleh sebuah titik ujung, atau tiang pancang dukung ujung. (Bowles,1986).

Menurut K. Basah Suryolelono (1994), secara umum pondasi tiang digunakan bila dijumpai kedalaman dan kondisi sebagai berikut:

- a. bila dijumpai kondisi tanah dasar pondasi merupakan tanah baik atau tanah dengan kuat dukung tinggi terletak pada kedalaman cukup dalam ($D/B \geq 10$) sedangkan tanah yang terletak di atas tanah baik kurang mampu mendukung beban yang bekerja atau merupakan tanah lunak,

- b. dasar pondasi sering mengalami erosi akibat gerusan air, misal pada pondasi pilar jembatan sehingga dasar pondasi perlu ditempatkan lebih dalam dari pengaruh gerusan paling dalam,
- c. jika suatu konstruksi menerima beban horisontal maupun tarik yang cukup besar. Untuk mengimbangi beban tersebut dapat diatasi dengan konstruksi pondasi tiang, misalnya konstruksi dermaga, pemecah gelombang, tanggul pelabuhan dan sebagainya,

2.2 Jenis Pondasi Tiang Pancang

Berbagai tipe pondasi tiang yang digunakan dalam konstruksi pondasi sangat tergantung pada beban yang bekerja pada pondasi tersebut selain tersedianya bahan yang ada, juga cara-cara pelaksanaan pemancangannya. Jenis pondasi tiang dapat dibedakan terhadap cara tiang meneruskan beban yang diterima ke tanah dasar, yaitu :

- a. “ Point Bearing Pile/ End Bearing Pile “, yaitu bila ujung tiang mencapai tanah keras atau tanah baik dengan kuat dukung tinggi, maka seluruh beban yang dipikul oleh tiang akan diteruskan ketanah dasar melalui ujung tiang.
- b. “ Friction Pile “, yaitu bila tiang dipancang pada tanah berbutir dengan nilai kuat gesek tinggi (jenis tanah pasir), maka beban yang diterima oleh tiang akan ditahan berdasarkan gesekan antara tiang dengan tanah sekeliling tiang.
- c. “ Cohesion Pile “, yaitu bila tiang dipancang pada tanah tanah berbutir halus atau tanah lunak yang mempunyai nilai kohesi cukup tinggi (jenis lempung), maka beban yang akan diterima oleh tiang akan ditahan oleh pelekatan antara tiang dengan tanah sekeliling dan permukaan tiang. (K. Basah Suryolelono,1994)

Pada kenyataan di lapangan, tanah sangat heterogen dan pada umumnya merupakan kombinasi dari ketiga hal tersebut. Keadaan ini disebabkan karena tanah merupakan kombinasi antara tanah berbutir kasar, tanah berbutir halus, dan tanah yang kompak, sehingga cara tiang meneruskan beban ke tanah dasar pondasi merupakan kombinasinya.

2.3 Kapasitas Dukung Tiang

Kapasitas dukung tiang pancang dihitung dengan berdasarkan pengujian di lapangan dan pengujian di laboratorium. Pengujian di lapangan meliputi pekerjaan sondir dan pengeboran dengan dilakukan pekerjaan SPT ("Standard Penetration Test"). Sedangkan pengujian di laboratorium meliputi penyelidikan sifat-sifat fisik dan mekanik tanah.

2.3.1 Berdasarkan hasil sondir (CPT)

Menurut Schmertmann dan Nottingham (1975), perhitungan daya dukung ujung tiang diambil dari nilai rata-rata perlawanan ujung sondir $8d$ diatas ujung dan $0,7d - 4d$ dibawah ujung tiang.

$$q_c = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$Q_p = \frac{1/4 \pi \cdot d^2 \cdot q_c}{SF1} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

Q_p = kapasitas dukung tiang terhadap tahanan ujung (Ton)

q_{c1} = nilai konus pada $8d$ diatas ujung tiang (Kg/cm^2)

q_{c2} = nilai konus pada $0,7d - 4d$ di bawah ujung tiang (Kg/cm^2)

d = diameter tiang (cm)

A_p = luas tampang ujung tiang (cm^2)

SF1 = angka keamanan, SF = 3

Selanjutnya daya dukung selimut tiang menurut Schmertmann-Nottingham (1975)

dihitung berdasar persamaan sebagai berikut :

$$Q_s = \frac{O \cdot t_f}{SF_2} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana :

Q_s = kapasitas dukung tiang terhadap gesekan selimut tiang (Ton)

t_f = tahanan gesek total (Kg/cm)

O = keliling tiang (cm)

2.3.2 Berdasarkan uji SPT (“Standard Penetration Test”)

Besarnya nilai kapasitas dukung tiang berdasarkan hasil uji SPT menurut Mayerhof (1976) adalah sebagai berikut :

$$Q_u = 40 \cdot N \cdot A_p + 0,2 \cdot N_r \cdot A_s \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana :

N = harga N-SPT pada dasar tiang

A_p = luas penampang dasar (cm^2)

N_r = harga N-SPT rata-rata

A_s = luas selimut tiang (cm^2)

2.4 Daya Dukung Kelompok Tiang

Beban kolom atau beban struktur yang besar, tidak hanya cukup didukung oleh kekuatan satu tiang saja tetapi diperlukan gabungan dari beberapa tiang. Kelompok tiang digunakan apabila terjadi kondisi sebagai berikut :

- Bila tiang tunggal tidak mempunyai kapasitas yang cukup untuk menahan beban kolom.
- Pemancangan tiang dapat meleset dari posisinya yang mengakibatkan terjadinya eksentrisitas terhadap pusat beban dari kolom dan menimbulkan momen-momen tambahan. Bila kolom dipikul oleh kelompok tiang maka pengaruh eksentrisitas dapat berkurang banyak.
- Kegagalan dari sebuah tiang dapat diatasi oleh adanya tiang yang lain.

2.4.1 Daya dukung kelompok tiang pada tanah pasir

Pondasi tiang yang berada di atas lapisan pasir padat biasanya merupakan tiang tahanan ujung. "Overlapping" tegangan yang terjadi akan memperbesar tegangan keliling di sekitar tiang. Hal ini sangat menguntungkan untuk pondasi tersebut karena daya dukungnya akan meningkat.

Jarak minimum antar tiang adalah sebesar 2 kali diameter sedangkan jarak optimal antar tiang adalah 2,5 – 3,0 kali diameter.

Efisiensi kelompok tiang pada tanah pasir (E_g), berdasarkan rumus Converse – Labarre :

$$E_g = 1 - \left[\frac{(n - 1)m + (m - 1)n}{90 \cdot m \cdot n} \right] \cdot \theta \quad \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan :

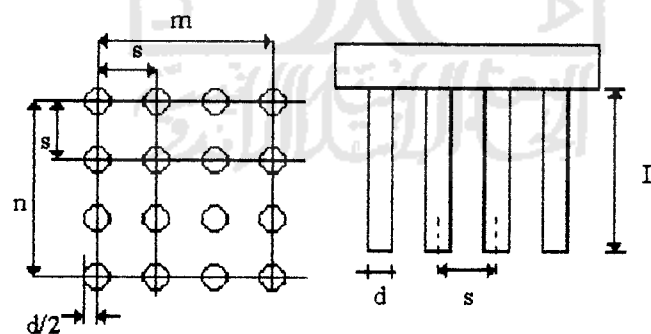
- m = jumlah tiang pada deretan baris
- n = jumlah tiang pada deretan kolom
- θ = $\text{arc tan} (d/s)$
- s = jarak antar tiang ($2d$ s/ d 3d)
- d = diameter atau sisi tiang (cm)

Daya dukung kelompok tiang pada tanah pasir (Q_u) :

$$Q_u = E_g (Q_p + Q_s) \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

- E_g = efisiensi kelompok tiang
- Q_p = kapasitas tahanan ujung tiang (Ton)
- Q_s = kapasitas selimut tiang (Ton)



Gambar 2.1 Efisiensi Kelompok Tiang

2.4.2 Daya dukung kelompok tiang pada tanah lempung

Daya dukung kelompok tiang pada tanah lempung dihitung berdasarkan persamaan-persamaan sebagai berikut :

a. Jumlah total kapasitas kelompok tiang

$$\begin{aligned}\Sigma Q_u &= m \cdot n (Q_p + Q_s) \\ &= m \cdot n (9 \cdot C_u + \alpha \cdot C_u \cdot o \cdot \Delta L) \dots\dots\dots (2.7)\end{aligned}$$

dimana :

- m = jumlah tiang dalam deretan baris
- n = jumlah tiang dalam deretan kolom
- C_u = kohesi tanah undrained
- α = koefisien distribusi gesekan selimut sepanjang tiang,

b. Daya dukung blok berukuran B x H x L

$$Q_u = B \cdot H \cdot 9C_u + \Sigma 2 (B \cdot H) \cdot C_u \cdot \Delta L \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana :

- H = panjang blok
- B = lebar blok
- ΔL = panjang segmen tiang

Besarnya daya dukung kelompok tiang diambil nilai terkecil dari kedua persamaan di atas.

2.5 Penurunan Tiang Tunggal

Menurut Vesic (1977) , penurunan pondasi tiang tunggal dapat dihitung sebagai berikut :

$$S = S_s + S_p + S_{ps} \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan :

S = penurunan total pondasi tiang tunggal (cm)

S_s = penurunan akibat deformasi aksial tiang tunggal (cm)

S_p = penurunan dari ujung tiang (cm)

S_{ps} = penurunan tiang akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang (cm)

Penurunan akibat deformasi aksial tiang (S_s) adalah

$$S_s = \frac{(Q_p + \alpha Q_s) L}{A_p \cdot E_p} \dots \dots \dots (2.10)$$

dengan :

Q_p = beban yang didukung ujung tiang (Ton)

Q_s = beban yang didukung selimut tiang (Ton)

α = koefisien yang tergantung pada distribusi gesekan selimut sepanjang tiang, $\alpha = 0,5$ untuk distribusi gesekan seragam dan $\alpha = 0,33$ untuk distribusi segitiga

A_p = luas penampang tiang (cm^2)

E_p = modulus elastis tiang (Kg/cm)

Penurunan dari ujung tiang (Q_p) adalah

$$S_p = \frac{C_p \cdot Q_p}{d \cdot q_p} \dots \dots \dots (2.11)$$

dengan :

C_p = koefisien empiris (lihat tabel 2.1)

Q_p = perlawanan ujung di bawah beban kerja (Ton)

q_p = daya dukung batas ujung (Kg/cm^2)

d = diameter tiang (cm)

Tabel 2.1 Nilai Koefisien C_p

Jenis Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
Pasir	0,02 – 0,04	0,09 – 0,18
Lempung	0,02 – 0,03	0,03 – 0,06
Lanau (Silt)	0,03 – 0,05	0,09 – 0,12

Sumber : Vesic (1977)

Penurunan akibat pengalihan beban sepanjang tiang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_{ps} = \frac{C_s \cdot Q_s}{L \cdot q_p} \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan :

$$C_s = [0,93 + 0,16 \sqrt{L/d}] \cdot C_p$$

Q_s = beban yang didukung selimut tiang (Ton)

L = panjang tiang (m)

d = diameter tiang (cm)

2.6 Penurunan Kelompok Tiang

Penurunan kelompok tiang umumnya lebih besar daripada pondasi tiang tunggal karena pengaruh tegangan pada daerah yang lebih luas dan lebih dalam. Vesic (1977) memberikan persamaan penurunan kelompok tiang sebagai berikut :

$$S_g = S \sqrt{\frac{B_g}{d}} \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan :

S = penurunan tiang tunggal (cm)

S_g = penurunan kelompok tiang (cm)

B_g = lebar kelompok tiang (cm)

d = diameter tiang tunggal (cm)

2.7 Tiang Dengan Beban Lateral

Beban lateral dan momen dapat bekerja pada pondasi tiang akibat gaya gempa, gaya angin pada struktur atas, beban statik seperti misalnya tekanan tanah aktif pada "abutment" jembatan atau pada "soldier pile", tumbukan kapal dan lainnya.

Beban lateral yang diijinkan pada pondasi tiang diperoleh berdasarkan salah satu dari 2 kriteria :

- beban lateral ijin ditentukan dengan membagi beban ultimit dengan suatu faktor keamanan.
- Beban lateral ditentukan berdasarkan defleksi maksimum yang diijinkan.

2.7.1 Penentuan tiang pendek dan panjang

Kriteria penentuan tiang pendek dan tiang panjang didasarkan pada kekakuan relatif antara pondasi tiang dengan tanah.

Pada tanah lempung "over consolidated", digunakan faktor kekakuan R untuk menentukan tiang pendek dan panjang

$$R = \sqrt[4]{\frac{EI}{Kd}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Sedangkan pada tanah lempung terkonsolidasi normal dan tanah berbutir kasar, digunakan :

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{\eta_h}} \dots\dots\dots (2.15)$$

dengan :

E = modulus tiang

I = inersia tiang

η_h = modulus variasi

K = modulus subgrade tanah, $K = k_s / 1,5$

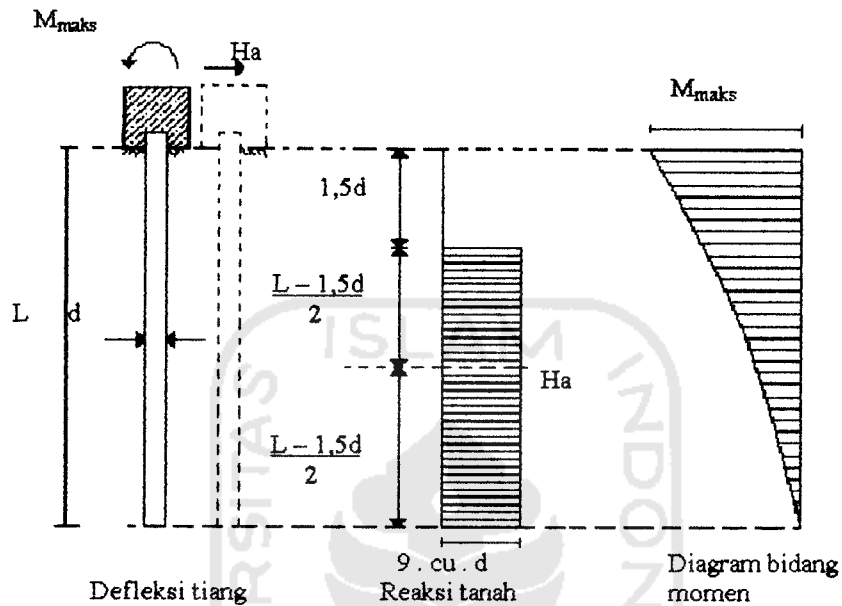
$k_s = 67 C_v/d$

d = diameter tiang

2.7.2 Tiang pada tanah kohesif

Jika tiang dipancang pada tanah kohesif, maka perlawanan ultimit tanah bertambah dari permukaan sebesar 2 cu menjadi 8 –12 cu pada kedalaman sekitar 3d di bawah permukaan tanah. Dalam hal ini cu adalah tegangan geser tanpa drainasi dan d adalah diameter tiang. Broms beranggapan bahwa penyederhanaan distribusi perlawanan tanah adalah nol pada permukaan tanah sampai pada kedalaman 1,5 d dari permukaan tanah, serta memiliki nilai konstan sebesar 9 cu pada kedalaman berikutnya. Dengan anggapan tersebut, diharapkan akan menimbulkan reaksi yang akan menahan gaya-gaya yang dapat menimbulkan kerusakan struktur tanah pada daerah kritis. Perhitungan selanjutnya adalah membedakan jenis tiang pendek dan tiang panjang.

a. Tiang pendek ($L/T \leq 2$ dan $L/R \leq 2$)



Gambar 2.2 Tiang pendek, ujung terjepit pada tanah kohesif (Sumber : Poulos, 1987)

Akibat gaya horisontal (H_a) tiang seakan-akan tergeser ke samping, sedangkan kondisi tiang adalah seimbang (stabil) maka timbul momen untuk mengembalikan ke posisi tersebut.

$$H_a = 9 \cdot c_u \cdot d (L - 1,5d) \dots\dots\dots (2.16)$$

$$M_{maks} = H_a \cdot (I') \Rightarrow I' = 0,5 \cdot L + 0,75 \cdot d \dots\dots\dots (2.17)$$

$$M_{maks} = 4,5 \cdot c_u \cdot d \cdot (L^2 - 2,25 \cdot d^2) \dots\dots\dots (2.18)$$

dengan :

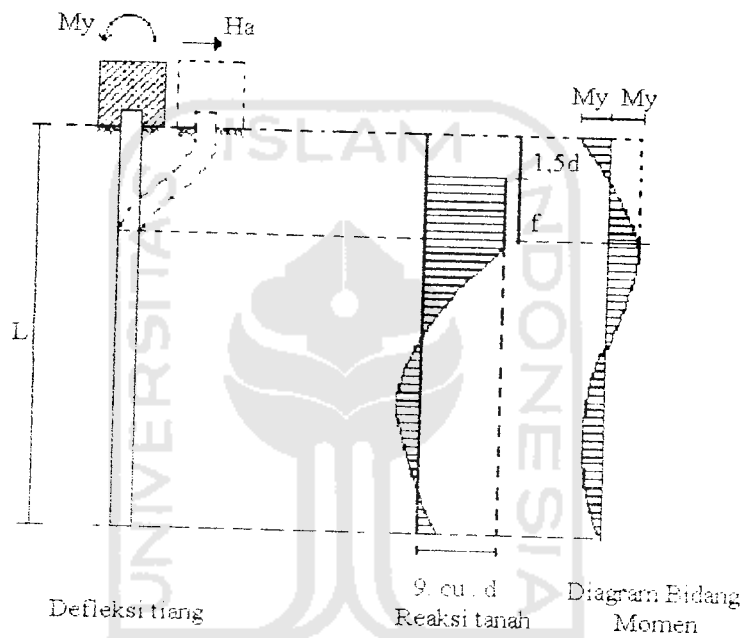
H_a = gaya lateral ultimit (ton)

M_{maks} = momen maksimal pada puncak tiang (ton.m)

I' = lengan momen (m)

- d = diameter tiang (m)
- cu = tegangan geser tanpa drainasi (t/m^2)
- L = panjang tiang

b. Tiang panjang ($L/T \geq 4$ dan $L/R \geq 3.5$)



Gambar 2.3 Tiang panjang, ujung terjepit pada tanah kohesif (Sumber : Poulos, 1987)

Pada jenis tiang ini, panjang seluruh tiang tidak mengalami defleksi seperti tiang pendek. Defleksi terjadi hanya sepanjang $(f + 1,5d)$ dan M_y sebagai momen puncak yang terjadi pada ujung tiang.

$$H_a = \frac{2 M_y}{(1,5 d + 0,5 \cdot f)} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$f = \frac{H_a}{9 \cdot c_u \cdot d} \dots\dots\dots (2.20)$$

dengan :

f = kedalaman tanah yang diijinkan untuk menahan defleksi

Jika kedua persamaan tersebut disubstitusikan, maka nilai H_a dicari dengan cara "trial and error".

2.7.3 Tiang pada tanah non kohesif

Berdasarkan analisis yang dilakukan Broms (1964) untuk jenis tanah non kohesif digunakan anggapan-anggapan sebagai berikut :

1. tekanan tanah aktif yang bekerja pada tiang (di belakang tiang diabaikan),
2. distribusi tekanan tanah pasif sepanjang bidang tiang bagian depan (p_u) adalah sama dengan 3 kali besarnya tekanan tanah menurut teori Rankine (σ_v' , K_p , dengan σ_v' = tekanan tanah efektif, K_p = koefisien tanah pasif). Asumsi ini didasarkan pada batas empiris dari perbandingan antara beban ultimit yang diperkirakan dengan beban ultimit dari hasil observasi lapangan yang dilakukan oleh Broms(1964), sehingga diambil rasio perbandingan sebesar 3,
3. Bentuk tampang tiang tidak mempengaruhi distribusi tekanan tanah ultimit atau perlawanan tanah lateral ultimit.

Untuk perhitungannya, dibedakan berdasarkan ukuran panjang tiang seperti pada perhitungan untuk jenis tanah non kohesif.

a. Tiang panjang

Untuk menentukan besarnya reaksi akibat gaya lateral, digunakan rumus sebagai berikut

$$H_a = 1,5 \cdot \gamma \cdot t^2 \cdot d \cdot K_p \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

$$f = 0,82 \frac{\sqrt{H_a}}{\gamma \cdot d \cdot K_p} \quad (2.22)$$

$$2 M_y = H_a (e + 2/3 f) \quad (2.23)$$

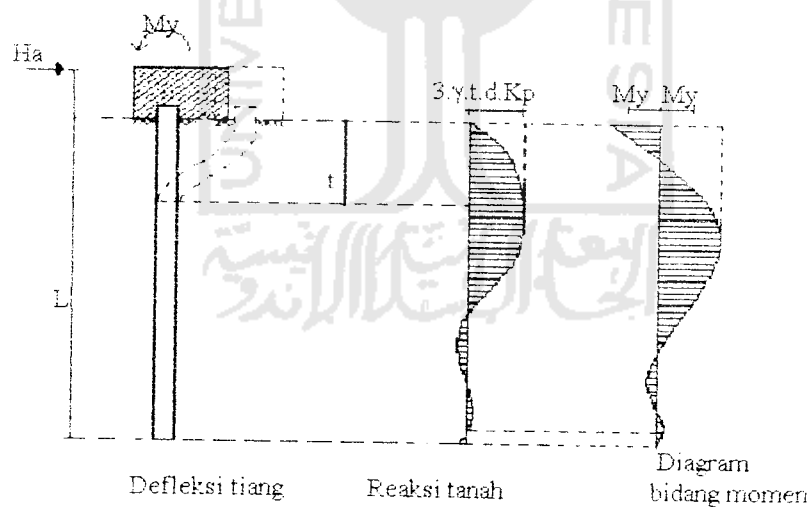
$$H_a = \frac{2 M}{e + 0,55 \sqrt{\frac{H_a}{\gamma \cdot d \cdot K_p}}} \quad (2.24)$$

dengan :

M_y = momen pada puncak pondasi tiang

K_p = koefisien tanah pasif

γ = berat jenis tanah



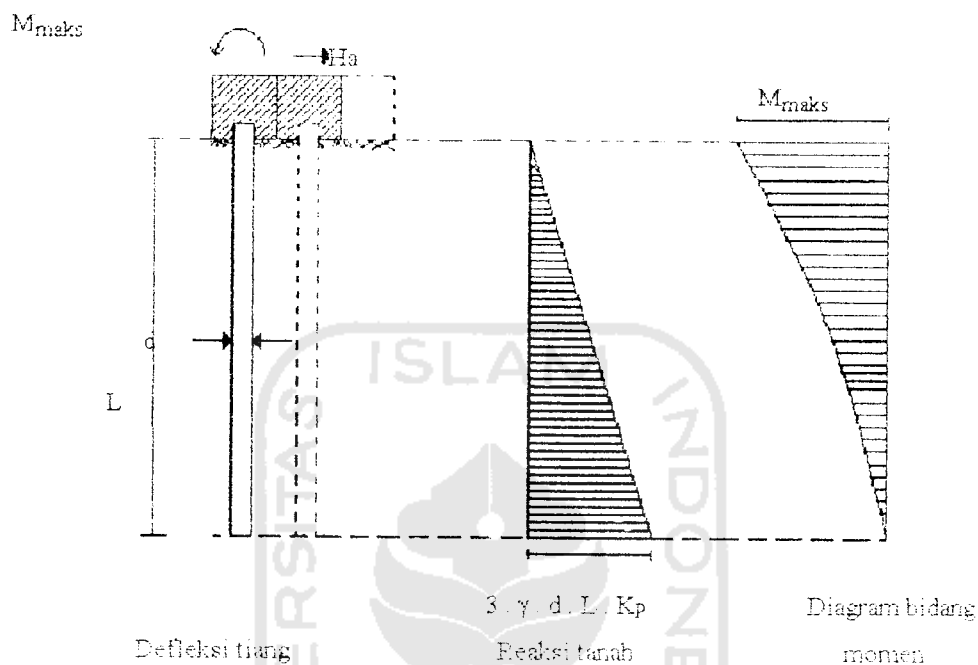
Gambar 2.4 Tiang panjang, ujung terjepit pada tanah non kohesif
(Sumber : Poulus,1987)

b. Tiang pendek

Pada keadaan stabil : $\Sigma H = 0$ dan $\Sigma M = 0$

diperoleh $H_a = 1,5 \cdot \gamma \cdot L^2 \cdot d \cdot K_p \quad (2.25)$

$$M_{maks} = \frac{2}{3} \cdot H_a \cdot L \quad \dots \dots \dots (2.26)$$



Gambar 2.5 Tiang pendek, ujung terjepit pada tanah non kohesif
(Sumber : Poulus, 1987)

2.8 Perencanaan tiang pancang beton prategang

Pertimbangan utama dalam desain pondasi tiang pancang beton prategang adalah tegangan-tegangan yang timbul selama penanganan dan pemancangan yang sifatnya sementara, dan tegangan-tegangan yang disebabkan oleh beban permanen (beban hidup dan beban mati), dan beban tidak tetap seperti angin, gempa bumi dan lain-lainnya.

Tegangan-tegangan yang diijinkan pada beton dan baja untuk kondisi beban yang berlainan ditetapkan oleh komite PCI ("Prestressed Concrete Institute") pada pemancangan tiang beton prategang disusun dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tegangan ijin beton dan baja

Tegangan Beton		
1.	Tekanan aksial merata untuk tiang pancang yang tertanam penuh dalam tanah yang memberikan dukungan lateral	$0,33 f'_c - 0,27 f_{pu}$
2.	Tarikan aksial merata : - Permanen dan berulang - Tidak tetap	0 $0,5 (f'_c)^{1/2}$
3.	Tekanan akibat lenturan : - Normal - Pekerjaan di laut dan jembatan	$0,45 f'_c$ $0,40 f'_c$
4.	Tarikan akibat lenturan : - Permanen dan berulang - Tidak tetap	$0,34 (f'_c)^{1/2}$ atau nol dilingkungan mudah berkarat $0,5 (f'_c)^{1/2}$
6.	Prategang efektif - Untuk tiang pancang 12 – 52 m - Untuk tiang pancang > 12 m	4,9 – 8,4 N/mm 2,8 – 4,9 N/mm
Tegangan Baja		
1.	Tegangan sementara : - Akibat gaya dongkrak sementara, tetapi tidak lebih besar dari nilai maksimum yang direkomendasikan oleh produsen baja - Tendon pratarik segera setelah transfer atau tendon pascatarik segera setelah pengangkatan. - Tarikan akibat beban tak tetap	$0,8 f_{pu}$ $0,70 f_{pu}$ Beton yang menentukan
2.	Prategang efektif	$0,60 f_{pu}$ atau $0,8 f_{py}$ (diambil yang terkecil)
3.	Baja prategang yang tak ditegangkan	$0,5 f_{py}$ (maksimum 210 N/mm)

Sumber : N. Khrisna Raju (1989)

2.8.1 Luas baja prategang

Luas baja prategang (A_{ps}) yang diperlukan, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$A_{ps} = \frac{P_e}{f_{pre}} \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

dengan :

f_{pre} = tegangan baja prategang efektif (Mpa)

P_e = gaya prategang efektif (N)

$$= f_{pe} \cdot A_c$$

f_{pe} = tegangan pada seluruh penampang akibat gaya prategang efektif / Nilai prategang efektif (Mpa)

A_{br} = Luas bruto penampang (mm^2)

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah merencanakan jumlah tulangan prategang adalah batas minimal dari nilai prategang efektif (f_{pe}), sehingga gaya prategang yang memenuhi persyaratan adalah,

$$P_{e \text{ min}} = f_{pe \text{ min}} \cdot A_{br} \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

dan luas baja prategang yang diperlukan adalah,

$$A_{ps \text{ perlu}} = \frac{P_{e \text{ min}}}{f_{pre}} = \frac{f_{pe \text{ min}} \cdot A_{br}}{f_{pre}} \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

Selain ketentuan diatas, Gerwick (1971) menganjurkan suatu luasan baja prategang minimum yang tidak kurang dari 0,5% penampang bruto berdasarkan teori dan pengalaman, maka

$$A_{ps \text{ min}} = 0,005 A_{br} \quad \dots\dots\dots (2.30)$$

2.8.2 Kapasitas tiang pancang beton prategang

Jika kekuatan silinder beton adalah f_c , maka kekuatan batas beton pada tiang pancang secara aman dapat diambil sebesar $0,85 \cdot f_c$. Pada beban batas, besar gaya prategang yang tinggal dalam tendon adalah sekitar 60% dari gaya prategang efektif. Kekuatan batas dapat dihitung dengan rumus:

$$P_u = (0,85 \cdot f_c - 0,6 \cdot f_{pe}) \cdot A_{br} \quad (2.31)$$

Standar-standar yang ditetapkan oleh "Prestressed Concrete Institute" menyatakan bahwa tekan maksimum (P) yang diijinkan pada tiang pancang beton prategang tidak boleh melebihi nilai kapasitas dukung aksial sebagai berikut

$$P = (0,33 \cdot f_c - 0,27 \cdot f_{pe}) \cdot A_{br} \quad (2.32)$$

sehingga didapat suatu faktor keamanan sebesar,

$$SF = \frac{P_u}{P} \quad (2.33)$$

Momen yang diijinkan pada penampang tiang pancang beton prategang didapat dengan cara meninjau tegangan yang terjadi akibat gaya prategang efektif, maupun akibat momen yang terjadi saat pengangkatan.

$$M = (f_{cu} + f_{pe}) \frac{I_c}{C} \quad (2.34)$$

Kombinasi antara beban aksial dan momen yang diijinkan pada penampang tiang pancang beton prategang bisa didapat dengan cara meninjau tegangan yang terjadi akibat gaya prategang yang efektif, beban konsentris (P), ataupun akibat momen

eksternal (M), maka tegangan pada serat terluar penampang dapat dihitung dengan cara elastis sehingga didapat rumus

$$f_c = f_{pe} - \frac{P}{A_t} \pm \frac{M \cdot C}{I_t} \quad \dots \dots \dots (2.35)$$

Dengan:

f_{pe} = tegangan beton prategang efektif persatuan luas penampang (N/mm² atau Mpa)

A_t = luas penampang transformasi tiang (mm²)

I_t = momen inersia penampang transformasi (mm⁴)

C = jarak antara sumbu netral penampang terhadap serat terluar (mm)

Tegangan yang terjadi tersebut harus lebih kecil daripada tegangan tekan ijin (f_{ccu}) = 0,45 . f_c , maupun tegangan tarik ijin (f_{ctt}) = 0,34 . $\sqrt{f_c}$, sehingga momen batas (M) dapat ditentukan.

1. Untuk serat tarik

$$f_c < f_{ctt}$$

$$M < (f_{ctt} + f_{pe} + \frac{P}{A_t}) \cdot \frac{I_t}{C} \quad \dots \dots \dots (2.36)$$

2. Untuk serat tekan

$$f_c < f_{ccu}$$

✓

$$M < (f_{ccu} - f_{pe} - \frac{P}{A_t}) \frac{I_t}{C} \quad \dots \dots \dots (2.37)$$

dengan :

f_c = kekuatan silinder beton (Mpa)

f_{ccu} = tegangan tekan ijin (Mpa)

f_{ctu} = tegangan tarik ijin (Mpa)

f_{pe} = tegangan beton prategang efektif persatuan luas penampang (N/mm² atau Mpa)

A_t = luas penampang transformasi tiang (mm²)

I_t = momen inersia penampang transformasi (mm⁴)

C = jarak antara sumbu netral penampang terhadap serat terluar (mm)

P = beban konsentris (Ton)

Untuk momen ijin dipakai hasil yang terkecil diantara kedua momen diatas.

2.9 Penyambungan Tiang Pancang

Tiang pracetak atau tiang yang dibuat di pabrik memerlukan penyambungan di lapangan, bila panjangnya lebih dari 12 m. Hal ini dikarenakan akibat bermacam-macam keterbatasan dalam proses pembuatan di pabrik, maupun dalam masalah pengangkutan di darat.

Menurut Suyono Sosrodarsono (1983), penyambungan tiang pancang di lapangan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

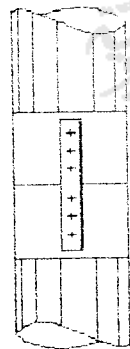
1. sambungan dengan paku keling,

2. sambungan dengan las titik,
3. sambungan dengan baut,
4. sambungan dengan las luner.

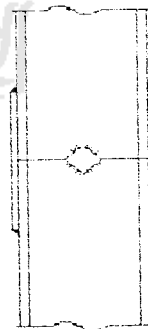
Bruce dan Hebert (1974) memberikan beberapa macam jenis sambungan yang berkembang dan dipergunakan di beberapa negara, antara lain

1. las ("welded"),
2. baut ("bolted"),
3. mekanikal ("locking"),
4. ring penghubung ("ring conector"),
5. baji ("wedge"),
6. klep ("sleeve"),
7. pasak ("dowel"),
8. "posttensioned".

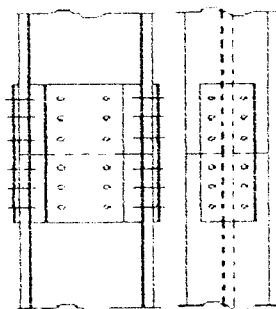
Berikut ini adalah gambar jenis-jenis sambungan tiang pancang :



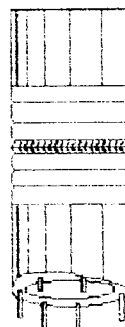
(a) Sambungan paku keling
(K.Basah Suryolelono, 1994)



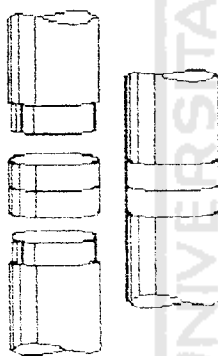
(b) Sambungan las
(Bowles, 1986)



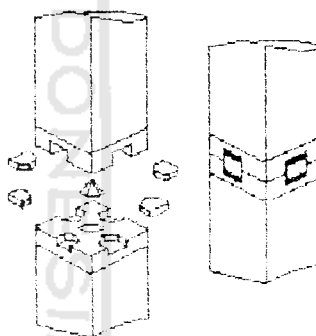
(c) Sambungan baut
(Bowles, 1986)



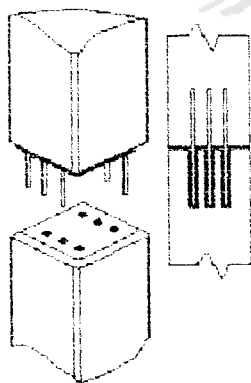
(d) Sambungan las
(Prakash-Sharma, 1990)



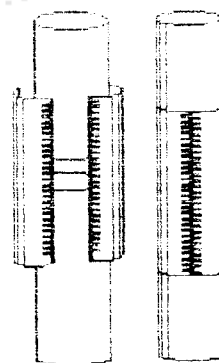
(e) Conector ring
(Prakash-Sharma, 1990)



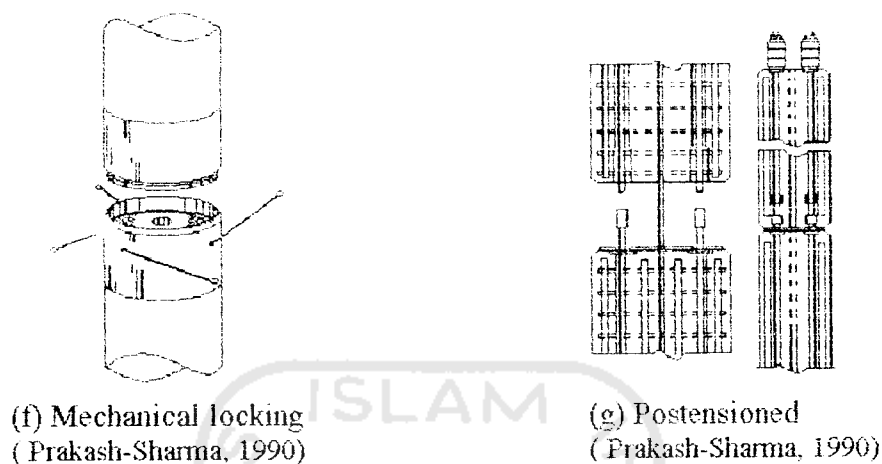
(f) Sambungan baji
(Prakash-Sharma, 1990)



(g) Sambungan pasak
(Prakash-Sharma, 1990)



(h) Sambungan klep
(Prakash-Sharma, 1990)



(f) Mechanical locking
(Prakash-Sharma, 1990)

(g) Postensioned
(Prakash-Sharma, 1990)

Gambar 2.6 Macam sambungan tiang pancang

2.10 Las

Jenis pengelasan yang paling umum digunakan dalam pekerjaan konstruksi adalah dengan menggunakan elektroda las. Menurut Welding Handbook (1976) proses pengelasan adalah proses penyambungan bahan yang menghasilkan peleburan bahan dengan memanasi hingga suhu yang tepat dengan atau tanpa pemberian tekanan dan dengan atau tanpa pemakaian bahan pengisi. Proses pengelasan yang umum, terutama untuk mengelas baja struktural, memakai energi listrik sebagai sumber panas adalah busur listrik. Arus listrik dialirkan melalui batang elektroda pada batang yang akan disambung, karena hubungan pendek yang terjadi mengakibatkan elektroda dan batang yang akan disambung meleleh bersama-sama menjadi menyatu.

Keuntungan sambungan las antara lain:

1. Sambungan ini lebih bersih tampaknya sehingga memberi kesan lebih sederhana dibanding dengan menggunakan baut.
2. Memberikan keleluasaan kepada perencana untuk memilih penampang bentukan dikarenakan sambungan las lebih mudah diterapkan
3. Tidak memerlukan lubang pada batang kecuali untuk tujuan pemasangan karena lubang akan membatasi perencanaan batang tarik
4. Menghasilkan batang dengan penampang lintang yang kecil
5. Sambungan las juga dapat mengurangi biaya konstruksi di lapangan, karena batang-batang dapat disesuaikan untuk menanggulangi kesalahan yang kecil dalam fabrikasi atau pemasangan.

2.10.1 Jenis Las

Jenis las yang biasa digunakan terdiri dari empat jenis yaitu las tumpul, sudut, biji (slot), dan pasak (plug). Secara kasar, persentase pemakaian keempat jenis tersebut untuk konstruksi las adalah sebagai berikut : las tumpul, 15%; las susut, 80%; dan sisanya 5% terdiri dari las baji, las pasak dan las khusus lainnya.

a. Las tumpul

Las tumpul ("groove weld") terutama dipakai untuk menyambung batang struktural yang bertemu dalam satu bidang, karena las tumpul biasanya ditujukan untuk menyalurkan semua beban batang yang disambungnya, las ini harus memiliki kekuatan yang sama seperti potongan yang disambungnya. Las tumpul seperti ini disebut las tumpul penetrasi sempurna. Bila sambungan direncanakan sedemikian rupa sehingga las

tumpul tidak diberikan sepanjang ketebalan potongan yang disambung, maka las ini disebut las tumpul penetrasi parsial.

b. Las sudut

Las sudut ("fillet weld") bersifat ekonomis secara keseluruhan, mudah dibuat, dan mampu beradaptasi, serta merupakan jenis yang paling banyak dipakai dibandingkan dengan jenis las dasar yang lain. Las sudut memerlukan sedikit presisi dalam pemasangan karena potongannya saling bertumpang ("overlap"), sedang las tumpul perlu kesejajaran yang tepat dan alur tertentu antara potongan. Las sudut menguntungkan untuk pengelasan di lapangan dan untuk menyesuaikan kembali batang atau sambungan yang difabrikasi dengan toleransi tertentu tapi tidak cocok dengan yang dikehendaki.

c. Las baji dan pasak

Manfaat utama las baji dan pasak adalah menyalurkan gaya geser pada sambungan lewatan bila ukuran sambungan membatasi panjang yang tersedia untuk las sudut atau las sisi lainnya. Selain itu juga berguna untuk mencegah terjadinya tekuk pada bagian yang saling bertumpang.

2.10.2 Tegangan ijin

Tegangan ijin untuk las tumpul penetrasi sempurna sama dengan tegangan ijin bahan dasar, tetapi logam las sepadan harus dipakai untuk yang mengalami tarikan, sedangkan untuk tekanan dapat dipakai kekuatan yang lebih rendah. American Welding Society (AWS) mengharuskan kekuatan tarik kurang dari 10 ksi (70 Mpa) di bawah harga las sepadan.

Tegangan ijin untuk geser pada bidang efektif semua las dan tegangan tarik tegak lurus sumbu bidang efektif pada las tumpul penetrasi sempurna sama dengan 0,3 kali kekuatan tarik elektroda. Tegangan bahan dasar tidak boleh lebih dari 0,6 F_y untuk tarikan dan 0,4 F_y untuk geseran. Tegangan ijin ditunjukkan dalam tabel 2.3.

Tabel 2.3 Tegangan ijin pada bidang las efektif

Jenis Tegangan pada Bidang Efektif	Tegangan Ijin	Tingkat Kekuatan Las yang Dibutuhkan
Las Tumpul Penetrasi Sempurna		
Tarik tegak lurus bidang efektif	Sama seperti logam dasar	Logam las sepadan harus digunakan
tekan tegak lurus bidang efektif	Sama seperti logam dasar	Logam las dengan tingkat kekuatan sama atau lebih kecil dari logam las sepadan boleh digunakan
Tekan atau tarik sejajar sumbu las	Sama seperti logam dasar	
Geser pada bidang efektif	0,3 x kekuatan tarik nominal logam dasar tetapi tegangan geser pada logam dasar tidak boleh melampaui 0,4 tegangan leleh logam dasar	
Las Tumpul Penetrasi Parsial		
Tekan tegak lurus bidang efektif	Sama seperti logam dasar untuk sambungan yang direncanakan mendukung	Logam las dengan tingkat kekuatan sama atau lebih kecil dari logam las sepadan boleh digunakan
Tarik atau tekan sejajar sumbu las	Sama seperti logam dasar	
Geser sejajar sumbu las	0,3 x kekuatan tarik nominal logam dasar tetapi tegangan geser dasar tidak boleh melampaui 0,4 x tegangan leleh logam dasar.	
Tarik tegak lurus bidang efektif	0,3 x kekuatan tarik nominal logam dasar tetapi tegangan geser dasar tidak boleh melampaui 0,6 x tegangan leleh logam dasar	

Las Sudut		
Geser pada bidang efektif	0,3 x kekuatan tarik nominal logam dasar tetapi tegangan geser dasar tidak boleh melampaui 0,4 x tegangan leleh logam dasar	Logam las dengan tingkat kekuatan sama atau lebih kecil dari logam las sepadan boleh digunakan
Tarik atau tekan sejajar sumbu las	Sama seperti logam dasar	
Las Pasak dan Baji		
Geser sejajar permukaan sorong (pada bidang efektif)	0,3 x kekuatan tarik nominal logam dasar tetapi tegangan geser dasar tidak boleh melampaui 0,4 x tegangan leleh logam dasar	Logam las dengan tingkat kekuatan sama atau lebih kecil dari logam las sepadan boleh digunakan

Sumber : AISC Tabel 1.5.3

2.10.3 Gaya geser dan lentur

Gaya geser dan lentur dihitung dengan menjumlahkan tegangan nominal geser dan lentur secara vektor. Berdasarkan persamaan yang diberikan AISC, besarnya tegangan geser dan lentur akibat beban vertikal dan horisontal adalah sebagai berikut

$$\text{Tegangan geser vertikal nominal } (f_v) = \frac{P}{S} = \frac{P}{\pi (r^2 - r_1^2)} \dots\dots\dots (2.38)$$

$$\text{Tegangan horisontal akibat lentur } (f_x) = \frac{M}{S} = \frac{M}{\pi/4r (r^4 - r_1^4)} \dots\dots\dots (2.39)$$

$$\text{Resultan tegangan } (f_r) = \sqrt{(f_v^2 + f_x^2)} \dots\dots\dots (2.40)$$

dimana :

P = gaya aksial (Ton)

A = luas bidang vertikal (cm²)

r = jari-jari luar lingkaran (cm)

r_1 = jari-jari dalam lingkaran (cm)

M = momen lentur (Ton-m)

S = modulus penampang (cm^3)

Dalam merencanakan las, dimensi tebal efektif las (t_e) biasanya tidak diketahui dan harus dicari. Dengan menganggap $t_e=1$, maka sesuai persyaratan dari AISC adalah sebagai berikut :

$$\text{Tebal efektif } (t_e) \leq \frac{f_r}{0,3 \text{ tegangan ijin}} \quad (2.41)$$

dengan f_r adalah satuan tegangan (ksi atau Mpa)

