

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Tinjauan Penelitian Terdahulu

Berikut ini beberapa penelitian terdahulu terkait dengan beban lateral dan beban vertikal yang terjadi pada tiang pancang :

1. Penelitian dengan judul “*On The Behaviour Of Pile Groups Under Combined Lateral And Vertical Loading*” pengaruh gaya vertikal pada gaya lateral pada kelompok fondasi 3x5 yang tertanam pada tanah berpasir dan tanah berlempung dibuat melalui 3D dengan program FLAC3D. Penelitian tersebut bertujuan untuk menganalisa kekuatan dan reaksi beban. Beban yang terjadi pada tiang pancang adalah beban lateral dan vertikal. Peneliti menggunakan teori Mohr-Coulomb untuk menganalisa besarnya gaya geser tanah dan tiang pancang dianggap sebagai material elastis linier. Hasilnya tiang pancang yang ditanam pada tanah berpasir menaikkan beban vertikal pada tiang pancang. Sedangkan tiang pancang yang ditanam pada tanah berlempung menurunkan kapasitas beban lateral yang terjadi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jenis tanah berpengaruh pada besarnya beban lateral dan beban vertikal yang terjadi.
2. Penelitian dengan judul “*Behavior Of Laterally And Vertically Loaded Piles In Multi-Layered Transversely Isotropic Soils*” penelitian ini menggunakan *finite element method* (FEM) atau metode elemen hingga dan *the analytical layer element method* (ALEM) atau disebut juga *boundary element method* (BEM) atau metode elemen batas. Metode elemen hingga digunakan untuk permodelan tiang pancang. Sedangkan metode elemen batas digunakan untuk pemecahan masalah multi layer pada tanah *isotropic*. Beban lateral dan vertikal berpengaruh terhadap

keseimbangan gaya dan perubahan bentuk pada tanah, tiang pancang yang bekerja pada tanah lunak yang dangkal memerlukan gaya yang lebih besar untuk memasukkan tiang kedalam tanah hingga mencapai kedalaman tertentu. Besarnya gaya yang bekerja dapat menyebabkan perubahan pada ujung tiang yang mendapatkan gaya. Hal tersebut harus menjadi pertimbangan pada saat perencanaan fondasi.

3. Penelitian dengan judul “*A Method To Compute The Non-Linear Behaviour Of Piles Under Horizontal Loading*” bertujuan untuk mengetahui mekanisme pembebanan pada tanah dengan interaksi beban lateral. Program yang digunakan adalah program NAPHOL dengan pendekatan turunan metode elemen hingga.

## **2.2. Identifikasi Tanah**

Penyelidikan tanah bertujuan untuk mengidentifikasi sifat-sifat dan karakteristik tanah serta memberikan informasi stratifikasi tanah, daya dukung tanah dan kondisi lapisan – lapisan tanah bawah. Hasil dari penyelidikan tanah berupa parameter-parameter kekuatan tanah diharapkan dapat dipergunakan untuk menunjang data perencanaan agar analisis dapat dilakukan secara maksimal dalam perencanaan dan rekayasa fondasi (Testana, 2018). Penyelidikan tanah sangat penting dilakukan sebelum dilakukan pekerjaan struktur karena dari hasil penyelidikan tanah dapat ditentukan perlakuan tanah agar daya dukung dapat mendukung konstruksi yang akan dibangun.

Dari hasil penyelidikan tanah ini dapat ditentukan alternatif/jenis fondasi, kedalaman serta dimensi fondasi yang paling efektif dan ekonomis serta tidak hanya aman namun juga efisien sesuai dengan sifat-sifat dan klasifikasi dari lapisan tanah. Penyelidikan tanah antara lain mencakup pengeboran tanah, pengambilan contoh tanah, pengujian lapangan, pengujian laboratorium dan observasi air tanah (Testana, 2018). Kedalaman penyelidikan tergantung jenis struktur, jenis tanah dan perkiraan awal fondasi yang akan digunakan. Sedangkan pada kasus ini letak titik-titik uji penyelidikan tanah telah ditentukan oleh pihak

kontraktor. Dalam hal ini tidak dilakukan pengukuran situasi lahan proyek maupun pengukuran koordinat dan elevasi titik-titik bor. Elevasi muka tanah pada titik-titik uji relatif rata. Dari hasil penyelidikan tanah bahwa fondasi yang dimungkinkan adalah fondasi tiang pancang. Sedangkan poin penting adalah kedalaman tiang pancang yang diperkenankan agar memenuhi kondisi menerima beban baik aksial maupun lateral (gempa).

### 2.2.1. Kuat Geser Tanah

Kekuatan geser tanah (*soil shear strength*) adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan (Coulomb, 1776). Kekuatan geser tanah dapat diukur di lapangan maupun di laboratorium. Jika disajikan dalam grafik maka garis lurus akan memotong ordinat antara tegangan geser dan tegangan normal (Gambar 2-1).

Rumus menurut Coulomb (1776) :

$$\tau = c + \sigma n \tan \phi \quad (2.1)$$

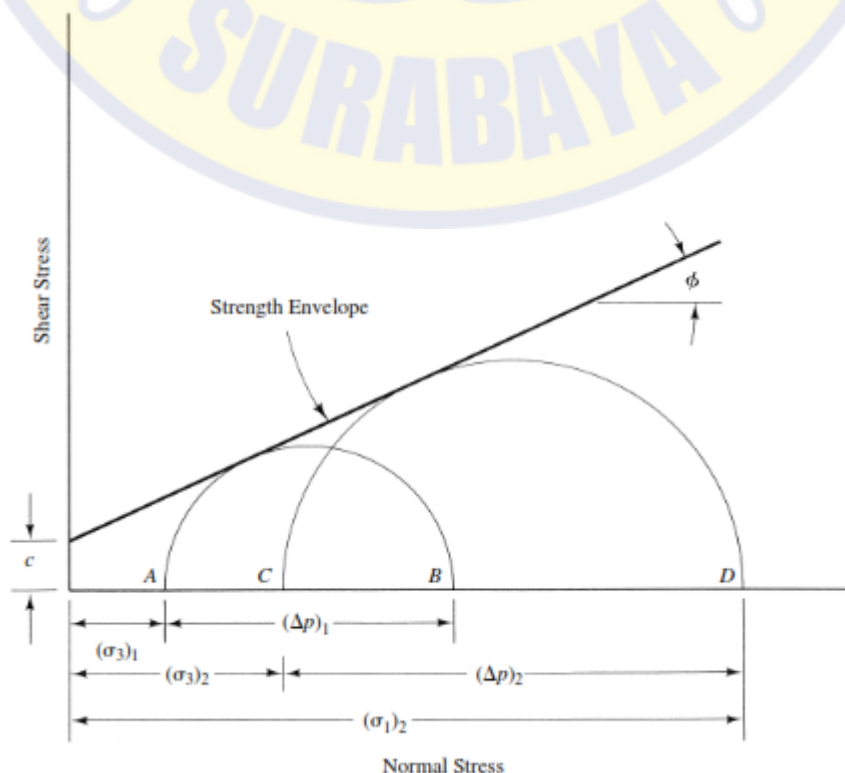
dimana :

$\tau$  : kuat geser tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$c$  : kohesi tanah

$\phi$  : sudut gesek dalam tanah atau sudut gesek *intern* (derajat)

$\sigma$  : tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m<sup>2</sup>)



### **Gambar 2- 1. Grafik Mohr dan Coulomb (Cheng & Jack, 2008)**

Dengan dasar pengertian diatas, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh (Hardiyatmo, 2002) :

1. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya
2. Gesekan antar butir-butir tanah

Kekuatan geser tanah dapat diukur di lapangan maupun di laboratorium. Pengukuran di lapangan antara lain menggunakan *vane-shear*, *plate load*, dan tes penetrasi. Pengukuran di laboratorium meliputi penggunaan miniatur *vane shear test* (Uji geser kipas), *direct shear test* (Uji kuat geser langsung), *triaksial compression* (Tekanan triaksial) , dan *unconfined compression test* (Uji tekan bebas) (Sallberg, 1965) dan *fall-cone soil shear strength* (Uji kekuatan geser kerucut). Pada kasus ini uji kuat geser tanah menggunakan *triaksial compression test* dengan kondisi *consolidated undrained* atau kondisi tanah dalam keadaan terkonsolidasi tidak terdrainase dan bisa dikatakan tanah dalam kondisi utuh. Pengujian kuat geser ini dilakukan untuk mendapatkan parameter kuat geser yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ).

### **2.3. Jenis Tanah**

Sebelum melakukan perencanaan fondasi hal pertama yang harus diketahui adalah klasifikasi jenis tanah yang akan dibangun fondasi. Karena perbedaan jenis tanah akan berpengaruh pada jenis fondasi yang akan digunakan serta masalah yang mungkin muncul pada saat konstruksi juga akan bervariasi tergantung jenis tanah dan batuan.

Klasifikasi tanah berdasarkan sifat lekatnya dibagi menjadi 2 yaitu :

1. Tanah kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir-butirnya contoh tanah lempung.
2. Tanah non kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan Antara butir-butirnya contoh pasir.

Untuk mengetahui jenis tanah maka perlu dilakukan penyelidikan tanah. Profil nilai N hasil dari pengujian SPT terhadap kedalaman disajikan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2. 1.** Hubungan  $N_{SPT}$  vs Tingkat Kepadatan/ Konsistensi (Testana, 2018)

Tanah Berbutir Kasar		Tanah Berbutir Halus	
$N_{SPT}$ (blows/ft)	Kepadatan	$N_{SPT}$ (blows/ft)	Konsistensi
< 4	Amat Lepas	< 2	Sangat Lunak
4 - 10	Lepas	2 - 4	Lunak
10 - 30	Agak Padat	4 - 8	Sedang
30 - 50	Padat	8 - 15	Kaku
< 50	Amat Padat	15 - 30	Amat Kaku
-	-	> 30	Keras

#### 2.4. Data Tanah

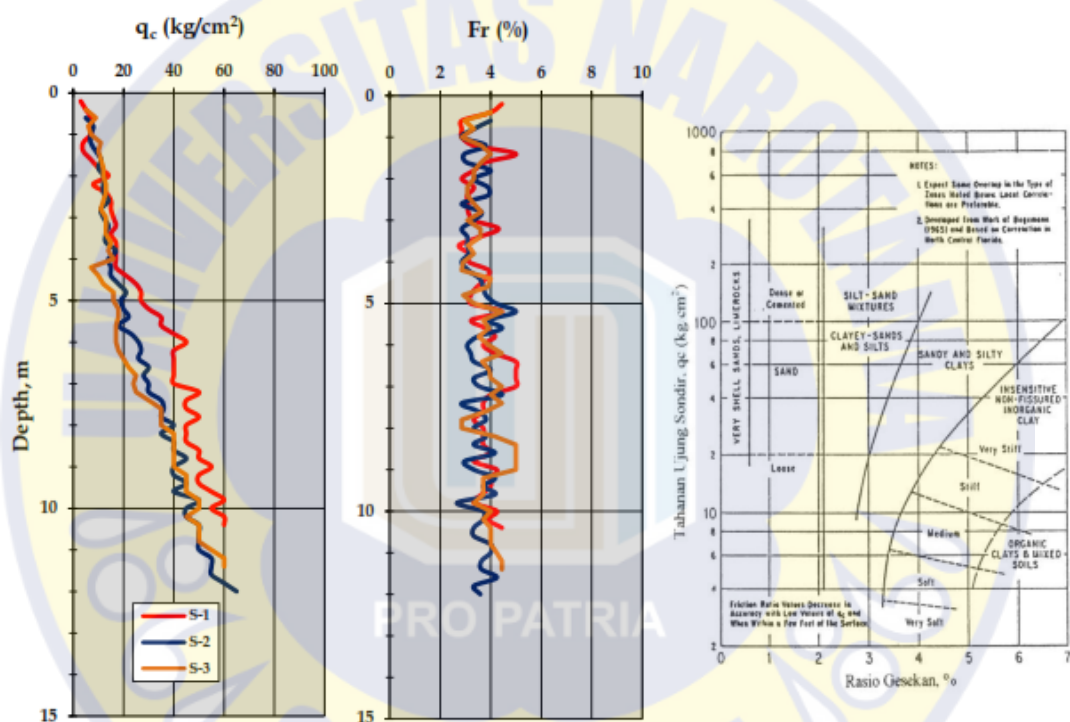
Pada kasus ini penyelidikan tanah yang dilapangan terdiri dari pengujian sondir, pemboran dan uji penetrasi standar (SPT), uji muka air tanah (M.A.T) serta telah dilakukan uji laboratorium terhadap beberapa contoh tanah tak terganggu (*undisturbed sampling*). Pada kasus ini penyelidikan tanah dilakukan pada 2 titik pemboran yaitu DB-1 dan DB-2.

#### 2.5. Sondir / Cone Penetration Test (CPT)

Pengujian sondir bertujuan untuk mengetahui daya dukung tanah pada setiap lapisan tanah serta untuk mengetahui lapisan tanah keras. Hal ini bertujuan agar dalam merencanakan fondasi yang akan digunakan sebagai penyokong *Tower Crane* diatasnya memiliki faktor keamanan atau *Safety Factor* (SF) yang tinggi sehingga *Tower Crane* dapat berdiri dengan kuat. Dengan dilakukan sondir



maka akan diketahui perlawanan lapisan-lapisan tanah dasar terhadap penetrasi konus. Hasil dari sondir disajikan dalam bentuk grafik-grafik hubungan antara  $q_c$  (tahanan ujung), TCF (jumlah hambatan pelekot),  $f_s$  (gesekan local) dan  $F_r$  (rasio gesekan) dengan kedalaman. Selanjutnya tahanan konus dan rasio gesekan (%) dari hasil uji sondir dengan kedalaman (m) beserta klasifikasi tanah berdasarkan chart usulan Schmertmann (1978) disajikan pada Gambar 2-2 dibawah ini :



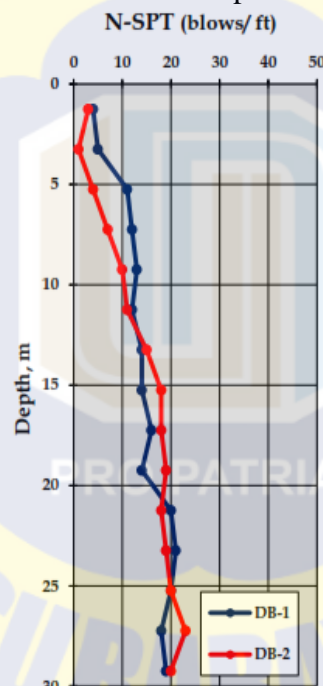
**Gambar 2- 2.** Tahanan ujung ( $q_c$ ,  $\text{kg/cm}^2$ ) dan Nilai Rasio gesekan ( $F_r$ , %) versus kedalaman (m) beserta chart perkiraan jenis tanah dengan menggunakan grafik Schmertmann (1978) (Testana, 2018)

## 2.6. Pemboran dan Uji Penetrasi Standart/*Standart Penetration Test (SPT)*

Selain menggunakan sondir/CPT untuk mengetahui daya dukung tanah dan kedalaman lapisan tanah keras digunakan juga uji penetrasi standart. Uji penetrasi standart dilakukan dengan cara pengeboran untuk mengetahui perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh tanah tak terganggu dengan teknik penumbukan. Pengambilan contoh-contoh tanah dilakukan dengan

menggunakan tabung penginti tunggal (STCB : *Single Tube Core Barrel*) dengan ujung bor metal *tungsten carbide bit* berdiameter luar 76 mm. Hasil pemboran kemudian disusun di dalam kotak-kotak pemboran (*core boxes*) untuk diskripsi visual lapisan-lapisan tanah bawah sehingga dapat digambarkan profil pelapisan tanah penyusun yang diberikan dalam *Boring Log*.

Pengujian penetrasi standart (SPT) dilakukan tiap interval kedalaman 2m untuk memperoleh *N Value* dari contoh tanah terganggu yang representative pada kedalaman-kedalaman yang dikehendaki. Pelaksanaan uji SPT dihentikan bila bacaan  $N_1$  atau  $N_2$  atau jumlah pukulan SPT,  $N_2 + N_3$  telah mencapai nilai  $\geq 50$ . Sedangkan tingkat kepadatan/ konsistensi lapisan tanah yang dinyatakan oleh nilai *N SPT* dapat menggunakan hubungan yang telah disampaikan oleh Terzaghi dan Peck (1948) disajikan dalam bentuk grafik (Gambar 2-3) dibawah ini :



**Gambar 2- 3.** Nilai SPT (bfs) vs kedalaman (m) (Testana, 2018)

Profil nilai *N* hasil dari pengujian SPT terhadap kedalaman disajikan pada Tabel 2.2 dibawah ini :

Tanah Berbutir Kasar	Tanah Berbutir Halus
----------------------	----------------------

**Tabel 2. 2.**  
NSPT vs

N <sub>SPT</sub> (blows/ft)	Kepadatan	N <sub>SPT</sub> (blows/ft)	Konsistensi
< 4	Amat Lepas	< 2	Sangat Lunak
4 - 10	Lepas	2 - 4	Lunak
10 - 30	Agak Padat	4 - 8	Sedang
30 - 50	Padat	8 - 15	Kaku
< 50	Amat Padat	15 - 30	Amat Kaku
-	-	> 30	Keras

Hubungan tingkat

kepadatan/konsistensi (Testana, 2018)

## 2.7. Muka Air Tanah (MAT)

Informasi tentang profil tanah dan batuan mencakup ketinggian muka air tanah. Muka air tanah adalah ketinggian air pada profil tanah dimana air akan mulai tampak pada saat dilakukan penggalian atau pengeboran. Muka air tanah penting untuk diperhatikan pada saat perencanaan fondasi karena ada dua alasan utama. Yang pertama yaitu muka air tanah diperlukan untuk menetapkan hubungan antara tekanan dengan kedalaman. Yang kedua yaitu dengan mengetahui kedalaman muka air tanah maka akan diketahui jika diperlukan perlakuan khusus selama proses konstruksi berlangsung. Pada poin kedua sangat penting bagi perencana fondasi untuk mempertimbangkan jenis fondasi yang akan dipilih dan bagi kontraktor untuk mempertimbangkan metode yang akan digunakan selama konstruksi.



## 2.8. Grain Size Distribution

Beberapa organisasi telah berusaha mengembangkan batas ukuran untuk kerikil, pasir, lumpur, dan tanah liat berdasarkan ukuran butir hadir di tanah. Tabel 2.5 menyajikan batas ukuran yang direkomendasikan oleh *Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)* dan *the Unified Soil Classification system (Corps of Engineers, Department of the Army, and Bureau of Reclamation)*. Pada Tabel 2.3 menunjukkan bahwa partikel tanah lebih kecil dari 0,002 mm diklasifikasikan sebagai tanah liat (Braja M. Das, 2014).

**Tabel 2. 3.** Klasifikasi Tanah Berdasarkan Ukuran Butiran (Braja M. Das, 2014)

<i>Classification System</i>	<i>Grain Size (mm)</i>
<i>Unified</i>	<i>Gravel : 75mm to 4.75 mm</i>
	<i>Sand : 4.75 mm to 0.075 mm</i>
	<i>Silt and clay (fines) : &lt;0.075 mm</i>
<i>AASHTO</i>	<i>Gravel : 75 mm to 2 mm</i>
	<i>Sand : 2 mm to 0.05 mm</i>
	<i>Silt : 0.05 mm to 0.002 mm</i>
	<i>Clay : &lt;0.002 mm</i>

### 2.7.1. Koefisien Keseragaman (*Uniformity Coefficient*)

U didefinisikan sebagai dari grafik penyebaran butiran tanah. Keseragaman dipresentasikan sebagai perbandingan antara ukuran ayakan dimana masing-masing 60 persen dan 10 persen tanah lolos pada ukuran lubang ayakan tersebut (Gogot, 2011) Koefisien keseragaman yang dinotasikan U, dirumuskan sebagai:

$$U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2.2)$$

Dimana :

U : Koefisien Keseragaman (*Uniformity coefficient*)

$D_{60}$  : Ukuran lubang ayakan dimana 60% butiran tanah lolos pada ukuran lubang tersebut

$D_{10}$  : Ukuran efektif, yaitu ukuran ayakan dimana 10% butiran tanah lolos pada ukuran lubang tersebut

### 2.8.2. Koefisien Gradasi (*Coefficient of Gradation*)

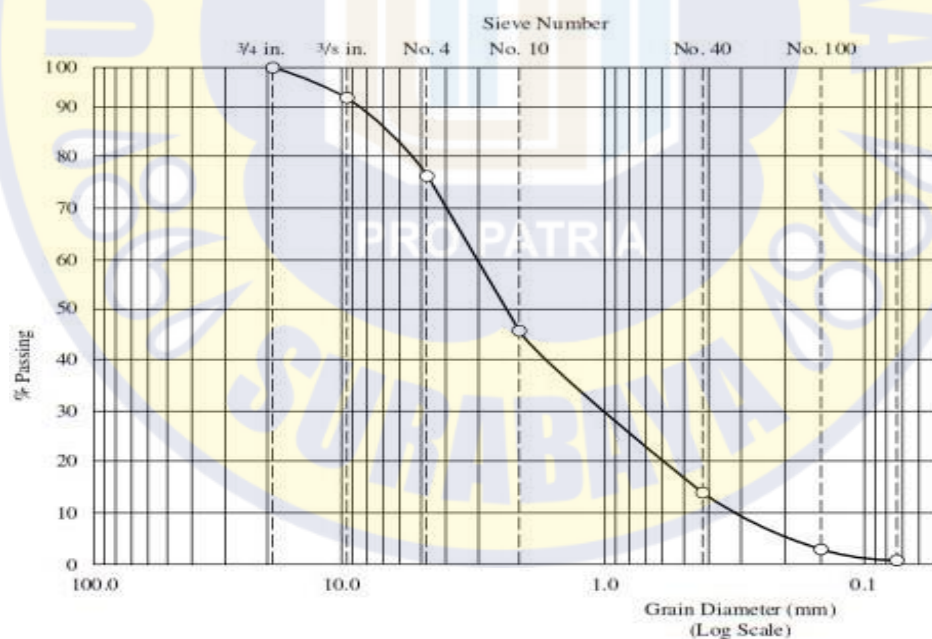
Koefisien Gradasi ( $C_z$ ) dirumuskan sebagai berikut :

$$C_z = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad (2.3)$$

Dimana :

$D_{60}, D_{30}, D_{10}$  : Ukuran lubang ayakan dimana masing-masing 60%, 30% dan 10% butiran tanah lolos pada ayakan tersebut

Besarnya nilai  $D_{60}, D_{30}, D_{10}$  disajikan dalam bentuk grafik (Gambar 2-4) dibawah ini :



**Gambar 2- 4.** Penentuan  $D_{60}, D_{30}, D_{10}$  (Gogot, 2011)

## 2.9. Analisis Daya Dukung Aksial

Jenis lapisan tanah (pasir, lempung) mempengaruhi hubungan dan perhitungan daya dukung aksial fondasi tiang pancang.

### 2.9.1 Tanah Berpasir

Untuk menghitung gaya yang terjadi pada tanah berpasir digunakan perhitungan sebagai berikut :

- a. Menurut Naval Engineering Facilities Command, hubungan gaya perlawanan sisi adalah sebagai berikut :

$$Q_s = 0.2 \cdot N \cdot A_s \text{ (ton)} \quad (2.4)$$

- b. Gaya perlawanan ujung menurut Meyerhof nilai tahanan ujungnya adalah :

$$q_p = 40 \cdot N \text{ (ton/m}^2\text{)} < 1600 \text{ ton/m}^2 \quad (2.5)$$

- c. Sehingga hubungan gaya perlawanan ujung adalah :

$$Q_p = 40 \cdot N \cdot A_p \quad (2.6)$$

dimana :

N : N desain =  $\frac{1}{2} \cdot (N_1 + N_2)$

N1 : harga rata-rata N dari ujung tiang ke 10 D ke atas

N2 : harga rata-rata N dari ujung tiang ke 4 D ke bawah

- d. Gaya perlawanan ultimit memiliki hubungan sebagai berikut :

$$Q_u = Q_s + Q_p \quad (2.7)$$

### 2.9.2 Tanah Berlempung

Untuk menghitung gaya yang terjadi pada tanah berlempung digunakan perhitungan sebagai berikut :

- a. Hubungan gaya perlawanan sisi yang merupakan sumbangan kohesi tanah adalah sebagai berikut :

$$Q_s = f_s \cdot A_s = \alpha \cdot c \cdot A_s \quad (2.8)$$

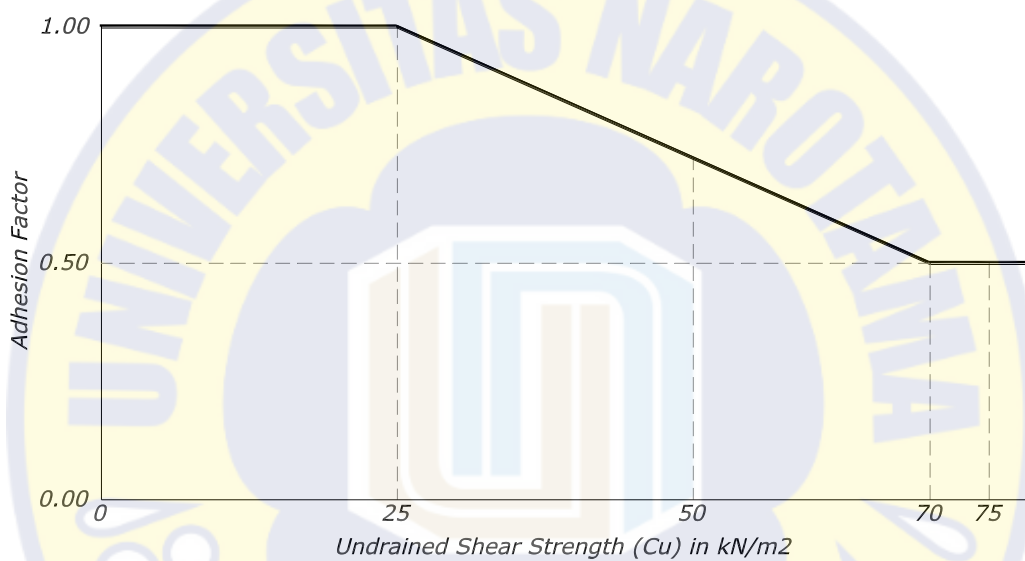
dimana :

$\alpha$  : koefisien adhesi antara tanah - tiang

$\alpha \cdot c$  :  $f_s$  (ton/m<sup>2</sup>, kN/m<sup>2</sup>)

$A_s$  : luas sisi tiang (m<sup>2</sup>)

Faktor adhesi ( $\alpha$ ) pada tanah kohesif (berlempung) untuk tiang pancang adalah sebagai berikut : Menurut API, Metode 2 (1986), nilai  $\alpha$  dapat dilihat pada hubungan antara  $c$  versus  $\alpha$  pada Gambar 2-5 dibawah ini :



**Gambar 2- 5.** Faktor Adhesi  $\alpha$  (API, Metode 2, 1986)

b. Gaya perlawanan ujung pada umumnya memiliki hubungan sebagai berikut :

$$Q_p = f_p \cdot A_p = 9 \cdot c \cdot A_p \quad (2.9)$$

dimana :

$9 \cdot c$  :  $f_p$  (ton/m<sup>2</sup>, kN/m<sup>2</sup>)

$A_p$  : luas penampang tiang (m<sup>2</sup>)

c. Gaya perlawanan ultimit memiliki hubungan sebagai berikut :

$$Q_u = Q_s + Q_p \quad (2.10)$$

### 2.9.3 Angka Keamanan/ Safety Factor (SF)

Agar didapatkan kapasitas ijin tiang, maka diperlukan untuk membagi kapasitas ultimit tiang dengan faktor aman tertentu. Faktor aman ini dimaksudkan untuk :

- Untuk memberikan keamanan terhadap variasi kuat geser dan kompresibilitas tanah.
- Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang yang digunakan cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.
- Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok masih tetap dalam batas-batas toleransi.
- Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam diantara tiang-tiang masih dalam batas toleransi.

## 2.10 Analisis Daya Dukung Lateral

Dalam banyak kasus beban aksial yang dimuat beban lateral relatif lebih sedikit berpengaruh pada momen lentur. Namun pada saat yang tertentu hal tersebut berguna untuk menemukan beban tekuk untuk tumpuan, dengan demikian beban aksial diperlukan dalam derivasi. Derivasi untuk persamaan diferensial untuk kolom balok pada fondasi di berikan oleh Hetenyi (1946) (Cheng & Jack, 2008). Asumsi dibuat bahwa bar pada fondasi elastis dikenakan pembebanan horizontal dan gaya tekan  $P_x$ . Ekuilibrium momen menggunakan persamaan dibawah ini :

$$(M + dM) - M + P_x dy - V_u dx = 0 \quad (2.11)$$

Atau

$$\frac{dM}{dx} + P_x \frac{dy}{dx} - V_v = 0 \quad (2.12)$$

Membedakan persamaan 2.12 dengan adanya x, persamaannya adalah :

$$\frac{d^2M}{dx^2} + P_x \frac{d^2y}{dx^2} - \frac{dV_v}{dx} = 0 \quad (2.13)$$

Dimana :

$$E_p I_p \frac{d^4 y}{dx^2} \quad (2.14)$$

Dan

$$P = E_{py} y \quad (2.15)$$

Kemudian disubstitusikan menjadi persamaan dibawah ini :

$$E_p I_p \frac{d^4 y}{dx^4} + P_x \frac{d^2 y}{dx^2} + E_{py} y = 0 \quad (2.16)$$

Gaya geser normal ke garis defleksi persamaannya adalah :

$$V_n = V_v \cos S - P_x \sin S \quad (2.17)$$

Karena S biasanya kecil,  $\cos S = 1$  dan  $\sin S = \tan S = dy/dx$  kemudian diperoleh persamaan :

$$V_n = V_v - P_x \frac{dy}{dx} \quad (2.18)$$

$V_n$  akan digunakan dalam perhitungan tetapi  $V_v$  dapat dihitung dari persamaan 2.18, dimana  $dy/dx$  sama dengan rotasi S. Persamaan diferensial kemudian diberikan pada persamaan :

$$E_p I_p \frac{d^4 y}{dx^4} + P_x \frac{d^2 y}{dx^2} - p + W = 0 \quad (2.19)$$

Dimana :

$P_x$  : gaya aksial pada tiang

$y$  : defleksi lateral dari tiang pada suatu titik x sepanjang tiang

$p$  : reaksi tanah per satuan panjang

$E_p I_p$  : lentur kekakuan dan

$W$  : distribusi beban sepanjang tiang

Persamaan lainnya yang diperlukan dalam menganalisis tiang pancang dengan beban lateral adalah :

$$E_p I_p \frac{d^3 y}{dx^3} + P_x \frac{dy}{dx} = V \quad (2.20)$$

$$E_p I_p \frac{d^2 y}{dx^2} = M \quad (2.21)$$

$$\frac{dy}{dx} = S \quad (2.22)$$

Dimana :

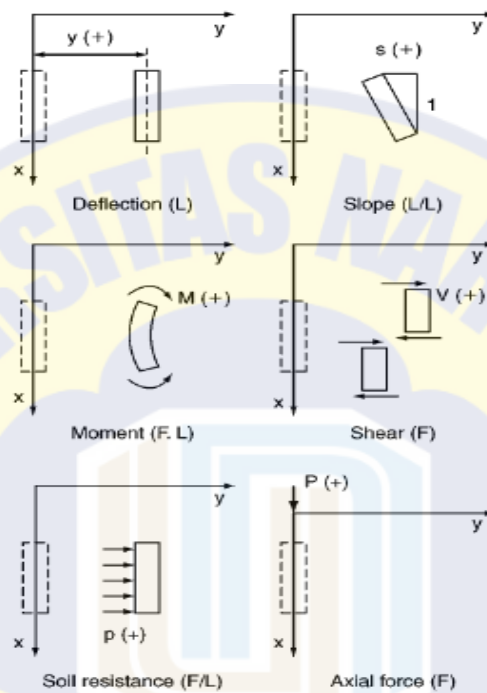
$V$  : geser pada tiang

$M$  : momen lentur pada tiang



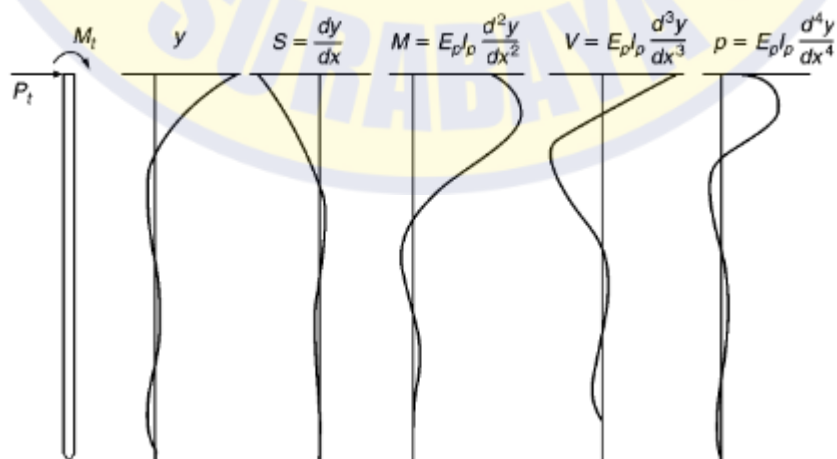
S : kemiringan kurva elastis

Beban aksial  $P_x$  pada umumnya tidak muncul pada persamaan balok. Namun konvensinya disajikan secara grafis pada Gambar 2-6 di bawah ini :



**Gambar 2- 6.** Tanda Konvensi Untuk Tiang Dibawah Gaya Lateral (Reese & William, 2011)

Sedangkan solusi dari hasil persamaan diferensial satu set kurva seperti ditunjukkan Gambar 2-7 dibawah ini :



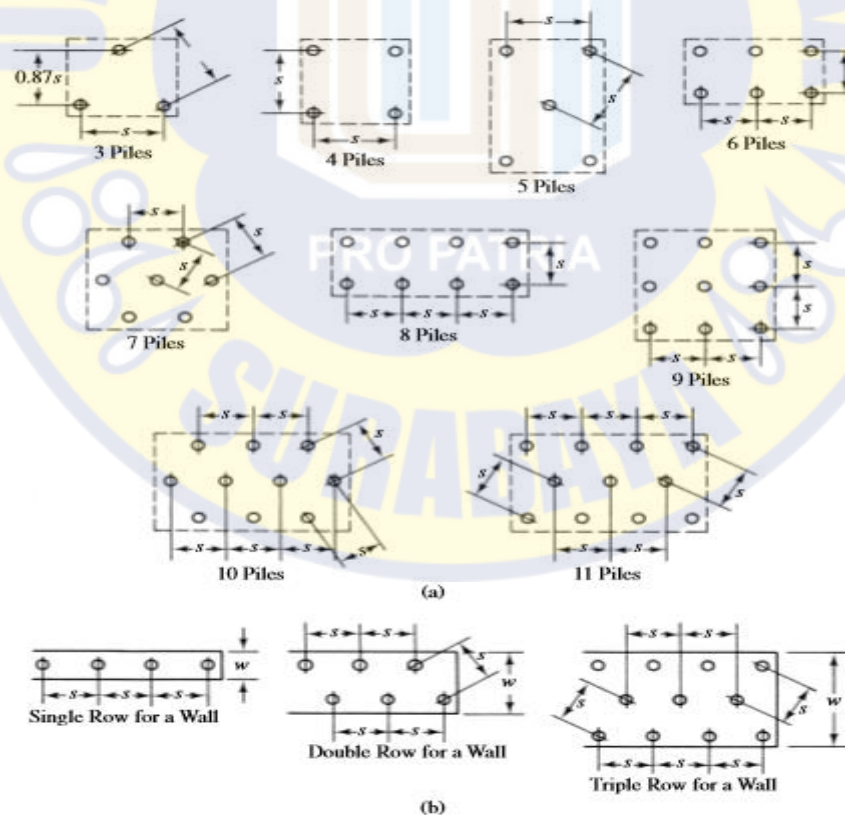
**Gambar 2- 7.** Hasil Yang Diperoleh Dari Solusi (Reese & William, 2011)

## 2.11. Kelompok Tiang Pancang

Kelompok tiang pancang yang dimaksud adalah tiang pancang yang dipasang secara berdekatan dengan jarak yang relatif dekat dan diikat menjadi satu bagian dengan menggunakan *pile cap*. Kelompok tiang pancang direncanakan untuk menerima beban kerja aksial dan lateral terutama beban momen yang sangat besar sekali. Untuk menyelesaikan kelompok tiang menerima beban kerja digunakan program Ensoft 2016.

### 2.11.1 Efisiensi Kelompok Tiang Pancang

Pada umumnya fondasi tiang pancang dipasang secara berkelompok yang terdiri dari tiga pancang atau lebih. Fondasi kelompok tiang biasanya diikat oleh *pile cap* dengan jarak yang relatif berdekatan (Cheng & Jack, 2008). Gambar 2-8 dibawah ini menunjukkan beberapa jenis kelompok fondasi tiang :



**Gambar 2- 8.** Beberapa Pola Kelompok Fondasi (J. E. Bowles, 1978)

Efisiensi kelompok fondasi tiang adalah kapasitas kelompok fondasi tiang dibagi dengan jumlah kapasitas tunggal fondasi tiang yang membentuk kelompok. Pada kasus ini fondasi kelompok terdiri dari *end-bearing* yang bertumpu pada batuan dasar (atau lapisan pasir dan kerikil tebal di atasnya batuan dasar) dan angka efisiensi diasumsikan 1.0 (Jumikis, 1971). (Dengan kata lain, kelompok  $n$  dari fondasi akan membawa  $n$  kali kapasitas fondasi tiang pancang tunggal.) Efisiensi 1.0 juga sering diasumsikan oleh pendesain untuk gesekan tiang yang didorong oleh tanah kohesif. Untuk fondasi kelompok tiang pada tanah kohesif diharapkan efisiensi kurang dari 1.0 karena tekanan dari fondasi tiang tunggal dapat membangun dan mengurangi kapasitas fondasi kelompok tiang. Persamaan yang telah digunakan untuk menghitung efisiensi kelompok fondasi tiang dikenal sebagai persamaan Converse-Labarre (Jumikis, 1971) :

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 mn} \quad (2.23)$$

Dimana :

$E_g$  : Efisiensi kelompok tiang

$\theta$  : arc tg  $d/s$ , dalam derajat

$m$  : Jumlah baris tiang

$n$  : Jumlah tiang dalam satu baris

$d$  : Diameter tiang

$s$  : Jarak pusat ke pusat tiang

## 2.12 *Pile Cap*

*Pile Cap* merupakan bagian untuk mengikat dan mengunci fondasi sebelum didirikan kolom di atasnya. Fungsi dari *pile cap* adalah untuk menerima beban dari kolom yang kemudian akan terus disebarkan ke tiang pancang. Pada perencanaan kelompok fondasi perlu dilakukan kontrol terhadap kelompok fondasi tiang terhadap beban vertikal, horizontal dan momen lentur. *Pile cap*

terbentuk oleh tulangan dengan diameter sesuai perencanaan, yang membentuk suatu bidang dengan ketebalan dan lebar tergantung jumlah tiang. Berikut langkah-langkah perencanaan *pile cap* :

1. Merencanakan jumlah tiang pancang dalam satu *pile cap*, dengan membagi beban dari kolom atau jika pada kasus ini beban dari *Tower Crane* dengan beban satu tiang bor atau daya dukung izin.
2. Menentukan tebal *pile cap*, tebal *pile cap* ditentukan sedemikian agar dapat memenuhi ketentuan yaitu :

$$\phi V_u \leq V_c \quad (2.24)$$

Dimana :

$V_u$  = Beban aksial pada kolom

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_0 \cdot d \quad (2.25)$$

$$b_0 = 2 \times \{(b + h) + (2 \times d)\} \quad (2.26)$$

3. Menghitung tegangan tanah yang terjadi akibat  $V_u$  dan  $M_u$

$$\sigma_{gsr \max} = \frac{V_u}{A_p} + \frac{M_u}{W} \quad (2.27)$$

$$\sigma_{gsr \min} = \frac{V_u}{A_p} - \frac{M_u}{W} \quad (2.28)$$

4. Menghitung Momen nominal

$$M_u = \frac{1}{2} W_u l^2 \quad (2.29)$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (2.30)$$

5. Menghitung  $\rho_{\text{balance}}$ ,  $\rho_{\text{max}}$  dan  $\rho$

$$\beta_1 = 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)} \quad (2.31)$$

Untuk  $\beta_1$  yang lebih dari 30 Mpa menggunakan rumus :

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f'_c - 30) \quad (2.32)$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \quad (2.33)$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.34)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} \quad (2.35)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} \quad (2.36)$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m R_n}{f_y}} \right) \quad (2.37)$$

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

6. Menghitung luas tulangan yang dibutuhkan

$$A_s = \rho \times b \times d \quad (2.38)$$

$$A_{\text{tulangan}} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \quad (2.39)$$

$$\text{Jumlah tulangan (n)} = \frac{A_s}{A_{\text{tulangan}}} \quad (2.40)$$

$$A_s \text{ terpakai} = n \times \text{luas tulangan} \quad (2.41)$$

$$A_s \text{ terpakai} = n \times \text{luas tulangan} \quad (2.41)$$

$$\text{Jarak tulangan} = \frac{\text{lebar (b)}}{n-1} \quad (2.42)$$

7. Menghitung lengan momen dalam (a)

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'c \times b} \quad (2.43)$$

8. Menghitung lengan momen dalam (a)

$$M_{n2} = A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.44)$$

Syarat :  $M_{n1} < M_{n2}$  (OK)