

## BAB III

### DATA STRUKTUR DAN PROSEDUR PERHITUNGAN

#### III. 1. Data Struktur dan Parameter Bahan

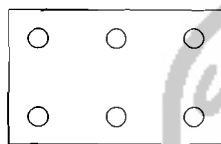
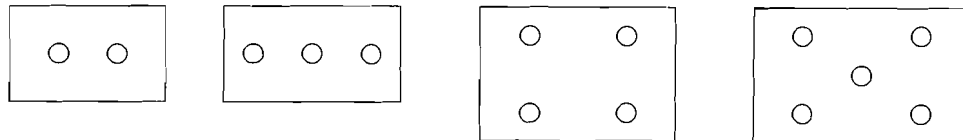
Bab ini menguraikan prosedur perhitungan pondasi tiang pancang kelompok *friction piles* dengan menggunakan metode statis. Data tanah diambil dari hasil penyelidikan tanah di daerah Telang Saleh Sumatera Selatan dan untuk parameter bahan menggunakan tiang pancang beton *cast in place*. Data-data tersebut diolah dengan menggunakan rumus-rumus yang telah dijabarkan dalam bab-bab terdahulu dan disederhanakan lagi urutan setiap langkah untuk memperjelas sebelum memasuki perhitungan lebih lanjut.

Data dan parameter bahan yang diperlukan dalam analisis formasi pondasi tiang pancang adalah sebagai berikut ini.

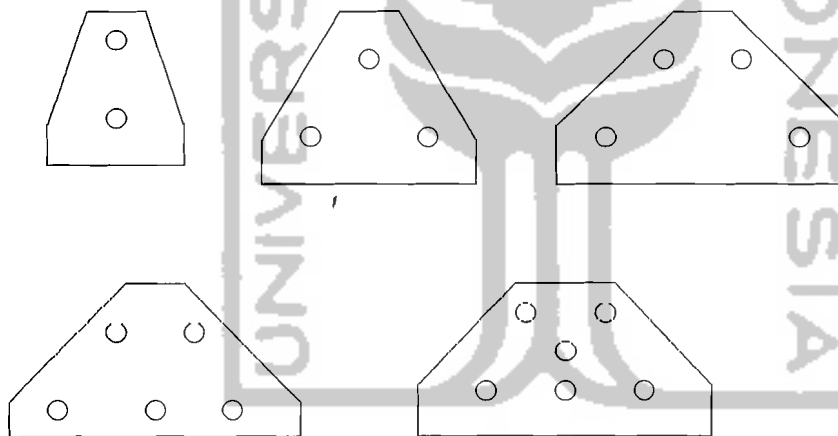
1. Data tanah diambil dari hasil penyelidikan tanah di daerah Telang Saleh Sumatera Selatan di titik TL-I/20 (lampiran dan tabel),
2. Mutu beton K-350 dengan berat volume beton  $23 \text{ kN/m}^3$ ,
3. Diameter tiang pancang adalah  $\varnothing 20$ ,  $\varnothing 30$ ,  $\varnothing 40$ ,  $\varnothing 50$  dan  $\varnothing 60$  dalam cm,
4. Jumlah tiang 2, 3, 4, 5 dan 6,
5. Tebal *poer* 40 cm,
6. Kedalaman rencana tiang pancang dari muka tanah asli adalah 20 meter,

diambil dari data sondir daerah Telang I titik 20 (TI/20),

7. Formasi tiang pancang A sebagai berikut :



8. Formasi tiang pancang B sebagai berikut :



### III. 2. Analisis Pondasi Tiang Pancang *Friction Piles* dengan Metode Statis

Pondasi tiang pancang *friction piles* dalam perhitungan daya dukungnya berdasarkan pada gaya pelekatan antara tiang dengan tanah di sekeliling tiang. Dalam menganalisis struktur pondasi tiang pancang *friction piles* perlu memperhatikan hal-hal berikut ini.

### III. 2. 1. Penerusan beban ke tiang

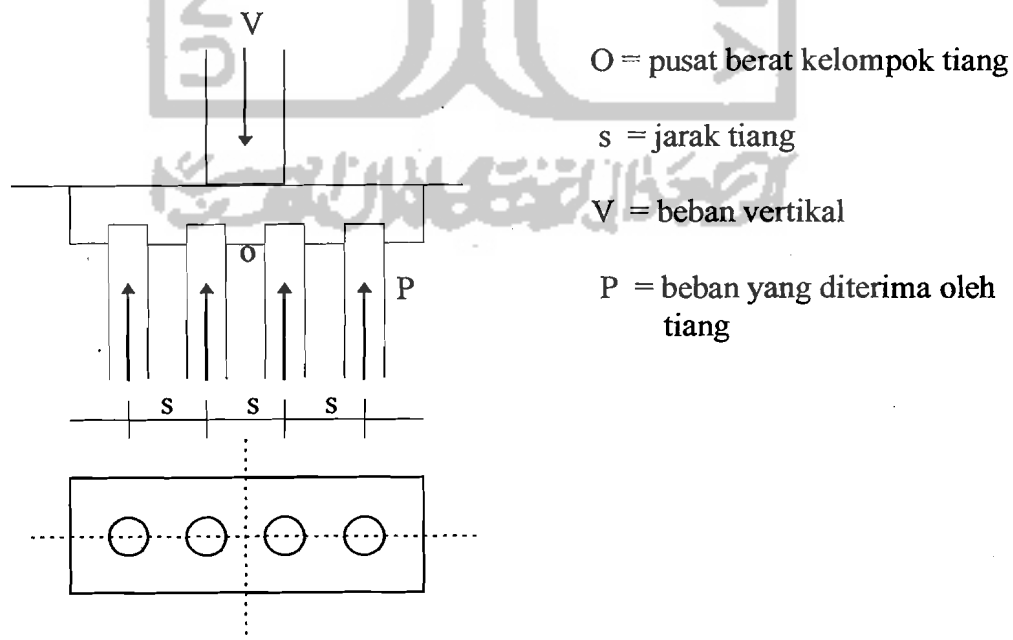
#### A. beban terbagi rata vertikal

Beban vertikal hanya dipikul oleh tiang, ini berarti bahwa *poer* tidak dapat diperhitungkan ikut mendukung beban yang langsung didukung oleh tanah dibawahnya karena pada pelaksanaannya tanah di bawah *poer* tidak asli lagi dan sudah banyak terganggu sehingga akan menjadi lembek dan mudah turun.

#### A. 1. Beban terbagi rata vertikal sentris

Beban ini merupakan beban ( $q$ ) per satuan panjang yang bekerja melalui pusat berat kelompok tiang ( $O$ ). Bila jumlah tiang yang mendukung pondasi tersebut adalah ( $n$ ), maka tiang akan menerima beban sebesar :

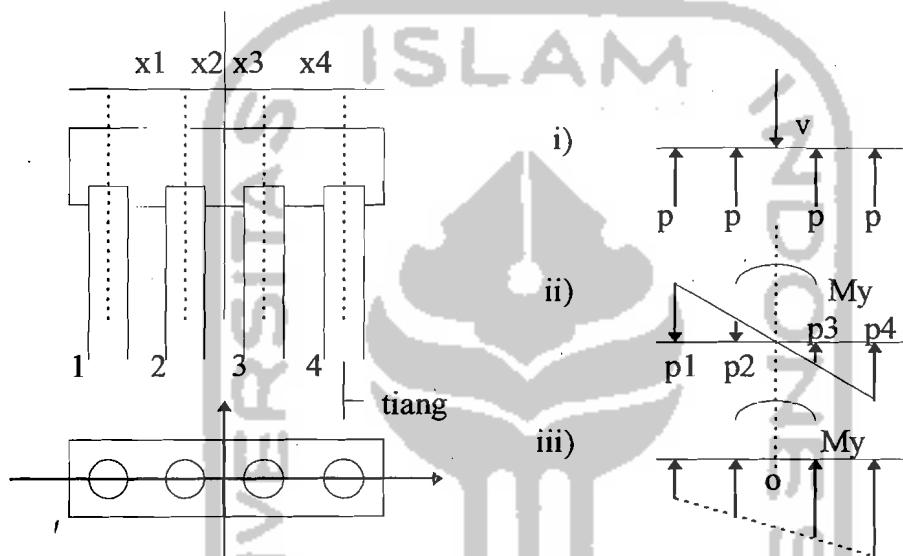
$$P = \frac{q}{n} \quad (3.1)$$



Gambar 3.1 Beban terpusat sentris

### A. 2. Beban terbagi rata vertikal eksentris

Beban terbagi rata vertikal eksentris identik dengan beban terbagi rata vertikal sentris terhadap pusat berat kelompok tiang (O), ditambah dengan beban momen terhadap titik O. Momen terjadi karena beban terbagi rata vertikal eksentris ( $q$ ) dibuat menjadi beban vertikal sentris ( $p$ ), sehingga timbul momen sebesar  $p \cdot x_i$ .



Gambar 3. 2 Analisis gaya pada tiang akibat beban vertikal sentris

Keterangan :

- i) Diagram gaya-gaya yang bekerja pada tiang akibat beban terpusat sentris
- ii) Diagram gaya-gaya yang bekerja pada tiang akibat beban momen
- iii) Superposisi i) dan ii)

$$M = \sum_{i=1}^n p_i \cdot x_i \dots\dots\dots (3.2)$$

*Poer* diasumsikan kaku sempurna, maka akibat beban yang bekerja pada tiang akan memberikan perbandingan penurunan secara linier :

$$p_2 : p_1 = x_2 : x_1$$

$$p_n = \frac{x_2}{x_1} p_1 \text{ atau } p_2 = \frac{x_n}{x_1} p_1$$

Substitusi ke persamaan (3.2), menjadi :

$$M = \frac{x_1^2}{x_1} + p_1 \frac{x_2^2}{x_1} + \dots + p_1 \frac{x_n^2}{x_1}$$

Sehingga beban yang diterima tiap tiang adalah :

$$P = \frac{V}{n} + \frac{M \cdot x_i}{\sum x_i^2} \quad (3.3)$$

## B. Beban terpusat vertikal

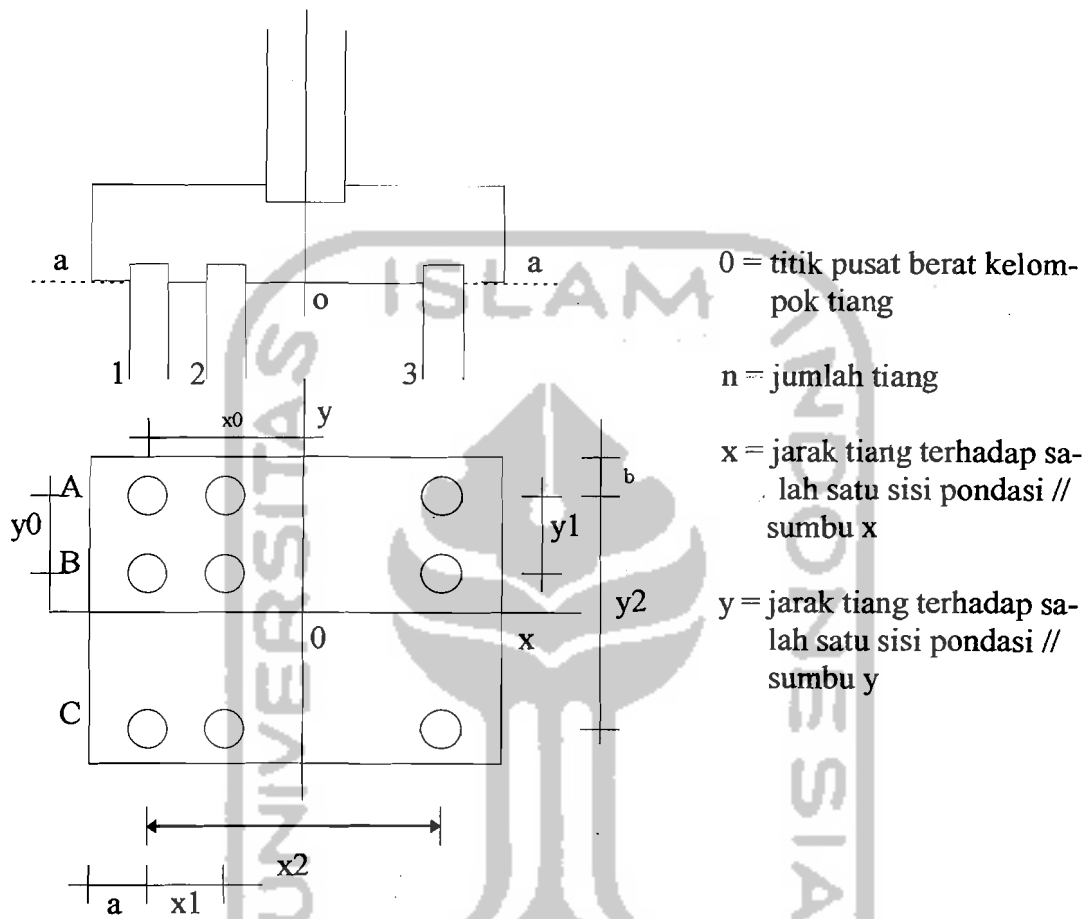
### B. 1. Beban terpusat vertikal sentris terhadap titik pusat berat kelompok tiang.

Beban ini merupakan analogi dari persamaan (3.1), beban terpusat vertikal (V) merupakan resultante beban kolom, berat kolom dan berat pondasi.

Bila jumlah tiang (n), maka :

$$P = \frac{V}{n} \quad (3.4)$$

### B. 2. Beban terpusat eksentris terhadap titik pusat berat kelompok tiang. Beban terpusat vertikal eksentris terhadap pusat berat kelompok tiang sama dengan kombinasi beban terpusat vertikal terhadap pusat kelompok tiang ditambah dengan adanya momen.



Gambar 3.3 Susunan tiang asimetris

Letak titik berat kelompok tiang :

$$nx_0 = n_1 \cdot x_1 + n_2 \cdot x_2 + \dots$$

$$x_0 = \frac{n_1 \cdot x_1 + n_2 \cdot x_2 + \dots + n_n \cdot x_n}{n} \dots \dots \dots (3.5)$$

analog :

$$y_0 = \frac{n_1 \cdot y_1 + n_2 \cdot y_2 + \dots + n_n \cdot y_n}{n} \dots \dots \dots (3.6)$$

Dengan  $(x_0, y_0)$  pada titik berat kelompok tiang, maka koordinat tiap tiang dapat diketahui.

Beban pada tiang ke-i (koordinat pusat tiang  $x_i, y_i$ ) peroleh :

$$P_i = \frac{V}{n} + \frac{M_y \cdot x_i}{n_y \cdot \Sigma x^2} + \frac{M_x \cdot y_i}{n_x \cdot \Sigma y^2} \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

dimana :

$P_i$  = beban pada tiang ke-i (kN)

$V$  = resultante beban vertikal (kN)

$n$  = jumlah tiang

$M_x$  = komponen momen pada arah sumbu - x (kNm)

$M_y$  = komponen momen pada arah sumbu - y (kNm)

$x_i$  = absis pusat tiang ke - i

$y_i$  = ordinat pusat tiang ke - i

$n_y$  = jumlah tiang dalam satu baris arah sumbu - y

$n_x$  = jumlah tiang dalam satu baris arah sumbu - x

$\Sigma x^2 = n_x \cdot x_1 + n_x \cdot x_2 + \dots\dots\dots + n_x \cdot x_n^2$

$\Sigma y^2 = n_y \cdot y_1 + n_y \cdot y_2 + \dots\dots\dots + n_y \cdot y_n^2$

### III. 2. 2. Kapasitas daya dukung tiang *Friction Piles*

#### A. Kapasitas daya dukung keseimbangan satu tiang *friction piles*

Tiang yang dipancangkan pada tanah lempung, perlawanan ujung akan jauh lebih kecil dari pada perlawanan akibat pelekatan antara tiang dan tanah. Karena itu untuk menghitung daya dukung tiang dalam lempung besarnya gaya pelekatan

antara tiang dan tanah harus diketahui. Daya dukung tiang pada tanah lempung dapat ditentukan dengan percobaan sondir. Percobaan sondir dilakukan dengan memakai alat *Bikonus* yaitu sebuah *konus* yang selain dapat mengukur perlawanan pada ujung, juga dapat mengukur gaya pelekatan antara alat dengan tanah. Gaya ini disebut hambatan pelekat dan angka-angka hasil pengukuran kemudian dijumlahkan sehingga akan diperoleh "jumlah hambatan pelekat" (DHP) yaitu pelekatan dari permukaan tanah sampai kedalaman yang dimaksudkan. Daya dukung tiang kemudian dihitung dengan menganggap bahwa perlawanan pada ujung tiang serta gaya pelekat antara tiang dengan tanah akan sama seperti nilai yang diukur dengan alat sondir. Jadi daya dukung keseimbangan (Q) satu tiang dapat dihitung berdasar besarnya nilai perlawanan ujung (qc) dan jumlah hambatan pelekat (L.c) dengan persamaan dari L. D. Wesley, 1977 sebagai berikut ini.

$$Q = p \cdot A + O \cdot L \cdot c \dots\dots\dots (3.8)$$

dimana : Q = daya dukung keseimbangan (kN)

p = nilai konis pada kedalaman rencana

A = luas tiang (m<sup>2</sup>)

O = keliling tiang (m)

L . C = jumlah hambatan lekat

Daya dukung keseimbangan (Qa) yang diijinkan dihitung dengan persamaan

$$Q_a = \frac{p \cdot A}{SF} + \frac{O \cdot L \cdot c}{SF} \dots\dots\dots (3.9)$$

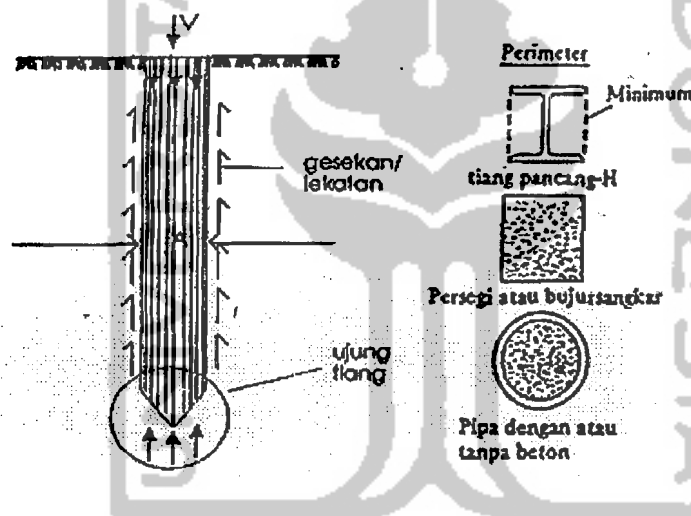
Dengan SF = *Safety Factor* (angka keamanan).



Untuk lapisan tanah lempung lunak, dapat mengabaikan perlawanan ujung (nilai konis/p), sehingga persamaan menjadi :

$$Q_a = \frac{O . L . c}{SF} \dots\dots\dots (3.10)$$

Nilai SF diambil antara 5 sampai 10, untuk daya dukung tiang individu dalam kelompok tiang merupakan hasil dari perkalian  $Q_s$  dengan efisiensi satu tiang dalam kelompok tiang.



Gambar 3.4. Diskripsi kapasitas daya dukung tiang tunggal

## B. Daya dukung kelompok tiang

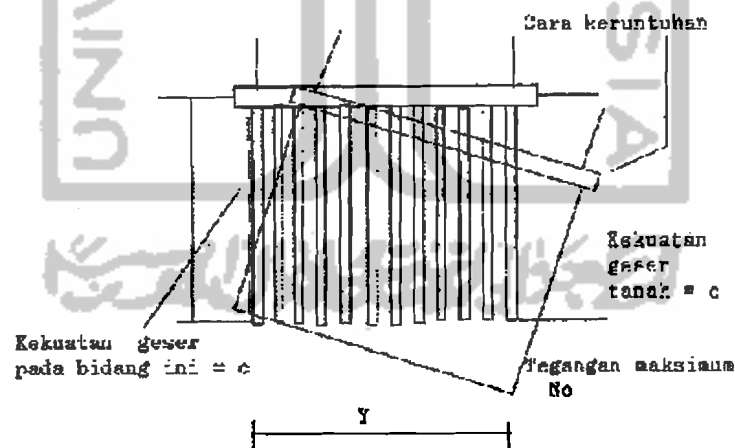
### B. 1. Pertimbangan tiang pancang kelompok

Tiang kelompok dipakai bila beban yang diterima pondasi terlalu besar dan tidak mampu digunakan satu tiang. Permasalahan yang penting dalam kelompok tiang adalah jarak antara tiang. Bila beberapa tiang pancang dikelompokkan, maka wajar jika diperkirakan bahwa tekanan-tekanan tanah (baik gesekan samping

maupun dukungan titik) yang dikembangkan dalam tanah sebagai hambatan akan saling *overlap* (Tumpang tindih). Dengan memperbesar jarak, maka *overlap* dapat diperkecil. Bahkan *overlap* ini mungkin dapat hilang jika jarak antara tiang cukup besar. Jarak optimal antar tiang yang dianjurkan adalah  $2,5 D \leq s \leq 3,5 D$ , dengan  $D$  adalah diameter tiang. Untuk kelompok tiang pancang yang memikul beban-beban lateral dan beban dinamis, jarak antar tiang pancang yang lebih besar biasanya lebih efisien (J. E. Bowles, 1991).

#### B. 2. Daya dukung tiang pancang kelompok

Pada kelompok tiang *friction piles* pada tanah lempung atau lanau, kemungkinan terjadinya keruntuhan harus diperhitungkan. Cara keruntuhan kelompok tiang diterangkan pada gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Keruntuhan kelompok tiang

Besarnya daya dukung kelompok tiang friction piles terbagi dalam dua bagian yaitu tekanan maksimum yang dapat ditahan pada dasar kelompok ditambah dengan perlawanan geser (*Shear Resistance*) pada permukaan luar kelompok tiang.

Daya dukung kelompok tiang ( $Q_t$ ) diperoleh dengan persamaan :

$$Q_t = c \cdot N_c \cdot A + 2 \cdot (B + Y) \cdot L \cdot c \cdot K \quad \dots \dots \dots (3.11)$$

dimana :  $Q_t$  = daya dukung kelompok tiang (kN)

$c$  = kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$B$  = lebar kelompok (m)

$Y$  = panjang kelompok (m)

$A$  = Luas kelompok tiang (m<sup>2</sup>)

=  $B \cdot Y$

$K$  = perbandingan gaya lekatan dengan kekuatan geser tanah  
(Grafik 3.10. lampiran)

$N_c$  = faktor daya dukung, berdasar (Grafik 3.11. lampiran)

Atau dengan persamaan *Terzaghi dan R. B. Peck, 1987* sebagai berikut ini.

$$N_c = \cot \phi \{ E^{\pi \cdot \tan \phi} \cdot \tan^2 (45 + \phi/2) - 1 \} \quad \dots \dots \dots (3.12)$$

dimana :  $E = 2,7182$  (bilangan epsilon).

Daya dukung ijin tiang kelompok ( $Q$ ) adalah :

$$Q = \frac{Q_t}{SF} \quad \dots \dots \dots (3.13)$$

dimana :  $SF = 5 - 10$  untuk tanah lempung (*K. Basah S, 1984*)

### III. 2. 3. Penurunan tiang pancang kelompok

Dalam tiang pancang kelompok, tiang-tiang disatukan oleh *poer* yang kaku,

sehingga merupakan suatu kesatuan yang kokoh. Dengan *poer* ini diharapkan bila kelompok tiang dibebani secara merata akan terjadi penurunan yang merata pula. Penurunan kelompok tiang pancang akan selalu lebih besar daripada penurunan tiang pancang tunggal. Dengan beban yang sama penurunan kelompok tiang akan lebih besar jika jumlah tiang bertambah. Salah satu cara untuk mengurangi penurunan tiang adalah dengan memperbesar jarak antara tiang.

Kelompok tiang pancang pada tanah lempung dapat menghasilkan penurunan elastis atau penurunan segera (*elastics settlement* atau *immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi atau penurunan yang terjadi dalam jangka waktu yang panjang (*long term consolidation settlement*), *J. E. Bowles, 1991*.

A. Penurunan elastis atau penurunan segera (*elastics settlement* atau *immediate settlement*),  $S_i$ .

Menurut *Janbu, Bjerrum dan Kjaersnli* serta *Tomlinson, 1986* besar penurunan elastis adalah :

$$S_i = \frac{\mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_n \cdot B}{E_u} \quad (3.14)$$

dimana :  $\mu_0 \cdot \mu_1$  = faktor reduksi

$S_i$  = penurunan elastis (cm)

$q_n$  = tekanan netto pondasi (kN)

=  $V/A$

$V$  = beban vertikal + berat sendiri (kN)

$A$  = luas kelompok tiang ( $m^2$ )

=  $B \cdot L$

$B$  = lebar tiang dalam tanah (m)

$E_u$  = modulus deformasi pada kondisi *undrained* ( $\text{kN/m}^2$ )

B. Penurunan konsolidasi atau penurunan yang terjadi dalam jangka waktu yang panjang (*long term consolidation settlement*)

Beban di atas tiang dianggap bekerja dalam tanah pada kedalaman  $2/3$  panjang tiang. Beban merata ( $q$ ) diperoleh dari beban vertikal dan berat sendiri tiang, sehingga :

$$q = \frac{V}{A}$$

dimana :  $V$  = beban vertikal + berat sendiri (kN)

$A$  = luas kelompok tiang ( $A = B \cdot L$ ) ( $\text{m}^2$ )

Tegangan akibat beban ini dianggap bekerja pada bidang yang makin luas seperti terlihat pada gambar 2.10 (hal. ). Jadi luas tersebut dibatasi oleh garis dengan sudut kemiringan  $30^\circ$  terhadap vertikal. Untuk menentukan tambahan tegangan  $\Delta p$  guna keperluan perhitungan penurunan, maka beban di atas tiang dibagi dengan luas yang dibatasi oleh garis tersebut.

Besarnya penurunan dihitung sebagai berikut :

B. 1. Lapisan (L) dengan kedalaman ( $h_i$ )

$$L_1 = L + 2 \cdot y_i \cdot h_i \cdot \text{tg } 30^\circ \quad \dots\dots\dots (3.15)$$

$$B_1 = B + 2 \cdot x_i \cdot h_i \cdot \text{tg } 30^\circ \quad \dots\dots\dots (3.16)$$

Maka luas transformasi :

$$A_1 = L_1 \cdot B_1$$

$$\Delta p = (A/A_1) \cdot q$$

$$P_0 = h_0 \cdot \gamma_0 + \gamma_1 \cdot (h_i - 1/1 \cdot h_i')$$

maka

$$P_i = P_0 + \Delta p \dots\dots\dots (3.17)$$

dimana :  $P_0$  = tegangan sebelum pembebanan

$\Delta p$  = pertambahan tegangan akibat beban luar

### B. 2. Menentukan $\Delta e$ berdasarkan grafik tes konsolidasi

Tes konsolidasi menghasilkan grafik (kurva) tegangan angka pori yang dapat digunakan untuk menentukan besarnya penurunan di lapangan. Misalnya, bila tegangan naik dari  $P_0$  menjadi  $P$ , besarnya penurunan (perubahan angka pori) dapat langsung dibaca dari grafik.

Tegangan  $P_0$  adalah tegangan efektif yang berlaku di atas tanah dan angka pori  $e_0$  ( $e_1$ ) adalah angka pori aslinya, sedangkan  $e$  ( $e_2$ ) adalah angka pori pada saat tegangan sebesar  $P$ .

Maka :  $P_0 \longrightarrow e_0 = e_1$

$P_1 \longrightarrow e_2$

$$\Delta e = e_1 - e_2$$

### B. 3. Penurunan ( $S_c$ ) dengan metode *Wesley*

Dari gambar 2.5 grafik hubungan tekanan- angka pori, besar penurunan akan dapat diketahui. Besar penurunan persatuan tebal ( $S_c$ ) adalah:

$$S_c = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} \cdot H \quad \text{atau}$$

$$S_c = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \cdot H \dots\dots\dots (3.18)$$

dimana :  $S_{ci}$  = penurunan pada lapisan tanah yang ditinjau (m)

$H$  = tebal lapisan tanah (m)

$e_o$  = angka pori awal

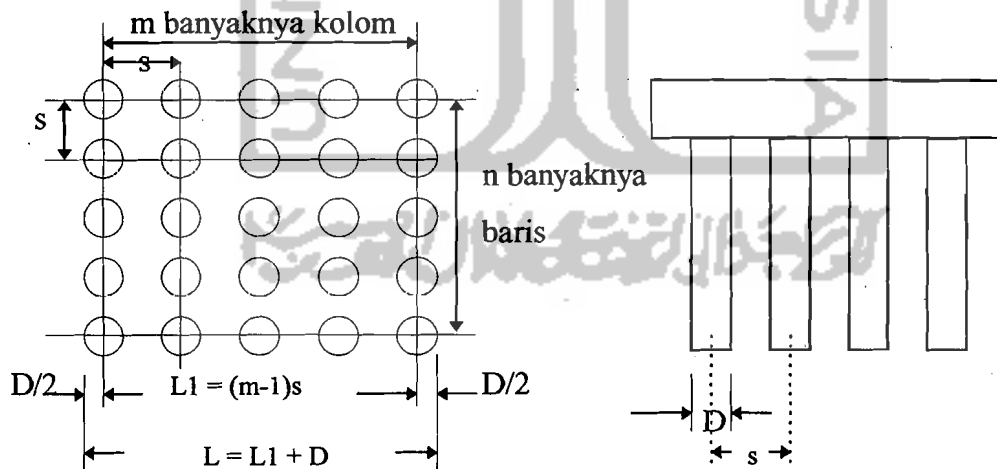
Untuk lapisan selanjutnya merupakan analog dari persamaan (3.15) - (3.18),

sehingga penurunan total menjadi :

$$S = \sum_{i=1}^n S_{ci} \quad (3.19)$$

### III. 2. 4. Efisiensi tiang kelompok

Efisiensi sebuah tiang pancang kelompok adalah perbandingan antara kapasitas kelompok terhadap kapasitas masing-masing kelompok tiang pancang.



Gambar 3.6. Efisiensi tiang pancang kelompok

Misalnya, banyaknya baris adalah  $n$  dan banyaknya kolom adalah  $m$  sedangkan jarak masing-masing tiang adalah  $s$ , maka banyaknya tiang pancang adalah

$$k = m \cdot n$$

Garis keliling kelompok tiang tersebut adalah :

$$P = 2 (m + n - 2) s + 4D$$

Efisiensi kelompok tiang pancang *Friction Piles* dicari dengan *Converse Labarre*

(*J. E. Bowles, 1991*). Efisiensi satu tiang pancang kelompok adalah :

$$Eq = 1 - \frac{\theta (n - 1) \cdot m + (m - 1) \cdot n}{90 \cdot m \cdot n} \quad (3.20)$$

dimana :  $m$  = jumlah banyaknya kolom

$n$  = jumlah baris

$\theta$  = arc tg  $D/s$  (dalam derajat)

$D$  = diameter tiang (m)

$s$  = jarak antar tiang (m)

