

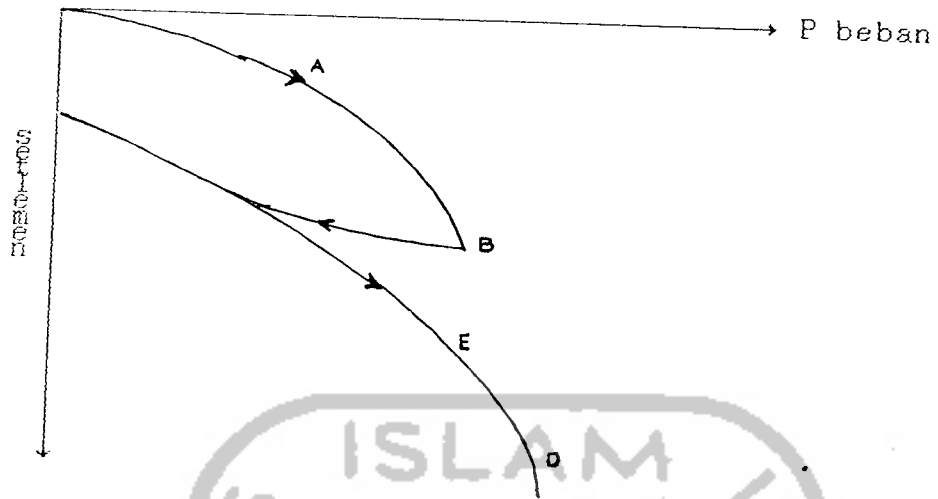
## B A B III

### DAYA DUKUNG FONDASI TIANG BOR TUNGGAL

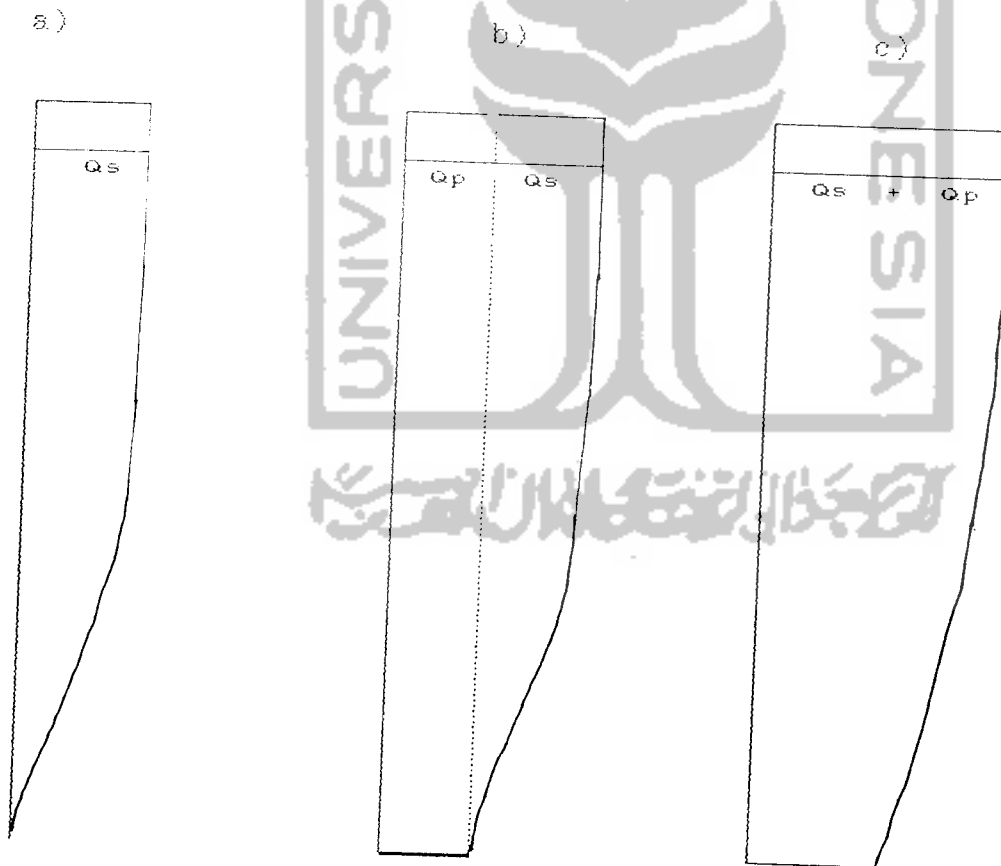
#### 3.1. Daya Dukung Tiang

Ada tiga faktor perlawanan dari tanah yang berperan terhadap kemampuan dukung fondasi tiang. Whitaker (1972) menyebutkan faktor-faktor tersebut sebagai berikut ini.

1. Gerskan tiang ke bawah menyebabkan timbulnya gaya pada permukaan di sekeliling tiang yang melawan gerakan tersebut. Gaya perlawanan ini diberikan oleh lekatan atau gesekan antara tanah di sekeliling permukaan tiang dengan permukaan tiang.
2. Jika sebuah tiang ditekan kebawah, maka tanah yang berada tepat dibawah ujung tiang dan disisi ujungnya akan memberikan perlawanan ujung pada tiang.
3. Tiang mengisi suatu rongga di dalam tanah. Berat dari volume tanah yang digantikan oleh tiang dengan luas penampang tiang  $A_b$ , ke dalam tiang  $D$ , dan unit tanah  $\gamma$  atau sama dengan  $\gamma \cdot D \cdot A_b$ . Selisih antara berat tiang dengan berat tanah yang digantikan oleh tiang harus didukung tanah.



Gambar 3.1. Kurva beban vs penurunan pada uji beban tekan tiang ("pile loading test").



Gambar 3.2. Transper beban dari kepala tiang sampai ujung tiang.

Pada gambar 3.1., pembebanan pada titik A dimana beban didukung oleh tahanan kulit sepanjang selimut tiang pada saat itu hanya sedikit bahkan tidak ada beban yang dipindahkan pada ujung tiang (gambar 3.2.a).

Pada gambar 3.1. pembebanan sampai titik B tahanan kulit maksimum telah dicapai dan sebagian beban ditransper ke ujung tiang (gambar 3.2.b).

Pada gambar 3.1. pembebanan pada titik D tahanan kulit dan tahanan ujung telah mencapai harga maksimum (gambar 3.2.c). Dari evaluasi di atas, Tomlinson (1977) memberikan persamaan dasar statis daya dukung ultimit fondasi tiang sebagai berikut:

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s - (w_p + W) \dots \dots \dots (3.1)$$

dimana:

- $Q_b$  = Tahanan ultimit ujung tiang
- $Q_s$  = Tahanan ultimit kulit tiang
- $w_p$  = Berat tiang
- $W$  = Berat tanah yang digantikan tiang ( $\gamma \cdot D \cdot A_b$ )

Besarnya  $w_p$  dan  $W$  diabaikan, karena memberikan hubungan yang sangat kecil pada  $Q_{ult}$  (Tomlinson, 1977).

$$Q = \frac{Q_{ult}}{SF} \dots \dots \dots (3.2)$$

dimana:

- $Q_{ult}$  = Kapasitas daya dukung ultimit tiang
- $SF$  = safety faktor

Tomlinson (1977) memberikan nilai SF sama dengan 2,5 untuk pencapaian setlemen yang tidak akan lebih dari 10 mm (0,4 inc) pada beban kerja.

### 3.2. Daya dukung Tiang Bor Menurut Rumus Teoritis

#### 3.2.1. Daya Dukung Tiang Bor Tunggal Teoritis Pada Tanah Kohesif.

Pada tanah kohesif, sudut gesek internal tanah  $\phi$ , dianggap sama dengan nol ( $\phi = 0$ ).

a. Kapasitas daya dukung ujung ("end bearing resistance").

Pada tanah kohesif, kapasitas daya dukung ujung menurut Tomlinson (1977) adalah sebagai berikut:

$$Q_{b \text{ ult}} = N_c \cdot C_b \cdot A_b \dots \dots \dots (3.3)$$

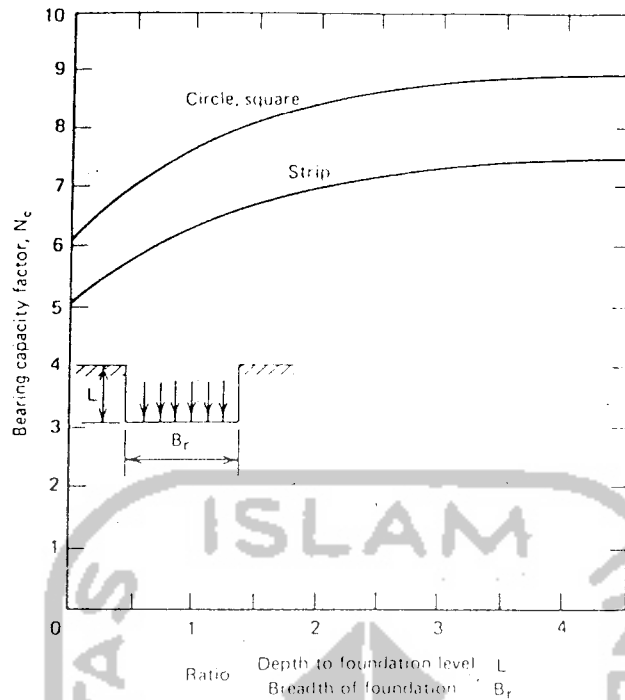
dimana:

$N_c$  = Faktor daya dukung (lihat gambar 3.3)

$C_b$  = Kohesi undrained ( $c_u$ ) pada ujung tiang

$A_b$  = Luas potongan melintang dari ujung tiang  
( $1/4 \cdot \pi \cdot D^2$ )

Untuk kedalaman tiang lebih besar atau sama dengan 4 kali diameter, Mayerhof (Tomlinson, 1977) memberikan harga  $N_c = 9$ . Tomlinson mengusulkan faktor reduksi sebesar 0,75 untuk nilai ujung tiang bor pada tanah lempung.



Gambar 3.3. Harga  $N_c$  untuk tiang di dalam tanah lempung

b. Kapasitas tahanan kulit.

Dari hubungan empiris antara gesekan kulit dan kohesi undrain tanah di sekeliling tiang, Tomlinson (1977) memberikan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{s \text{ ult}} = \alpha \cdot \bar{C}_u \cdot A_s \dots \dots \dots (3.4)$$

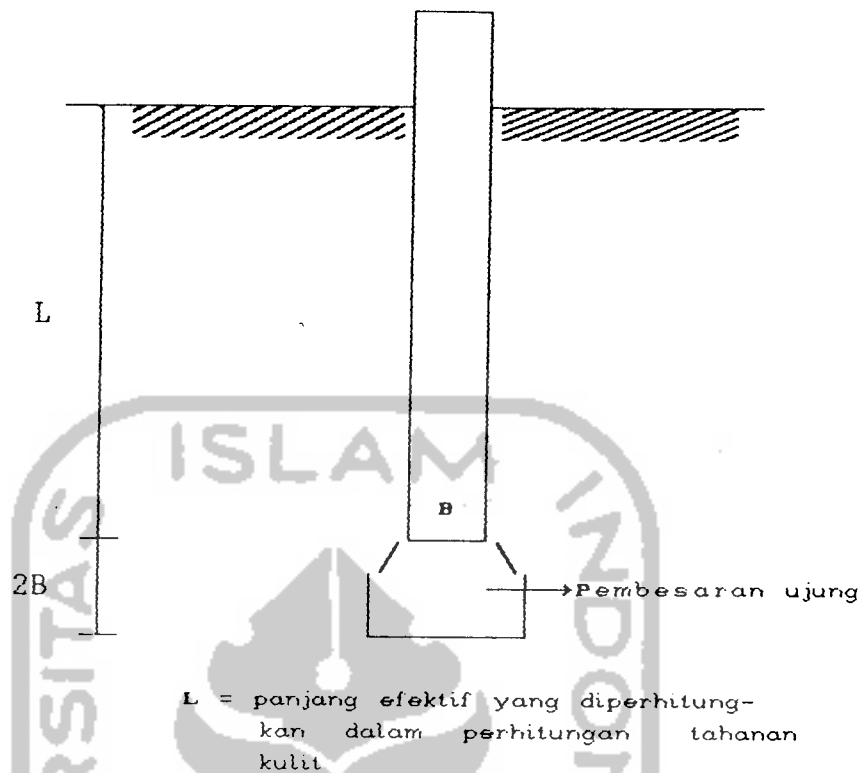
dimana:

$\bar{C}_u$  = Kohesi undrain rata-rata di sekeliling tiang

$A_s$  = Luas permukaan tiang (selimut tiang)

$\alpha$  = Faktor adhesi (0,3-0,6)

Skempton (Tomlinson, 1977) untuk tiang bor menyarankan memakai harga faktor adhesi ( $\alpha$ ) sama dengan 0,45. Untuk tiang dengan pembesaran di bawah ("under reamed pile") Tomlinson (1977) menyarankan panjang efektif dari selimut tiang adalah seperti gambar di bawah ini.



Gambar 3.4. Panjang efektif pada kulit tiang untuk perhitungan tahanan kulit pada "under-reamed pile".

### 3.2.2. Daya Dukung Tiang Bor Tunggal Teoritis Pada Tanah Non Kohesif

Formula klasik untuk menghitung daya dukung tiang bor pada tanah non-kohesif mengikuti bentuk persamaan 3.1. Dengan menganggap nilai kohesi undrained ( $C_u = 0$ ), Tomlinson (1977) memberikan persamaan daya dukung tiang sebagai berikut:

#### a. Daya dukung ujung

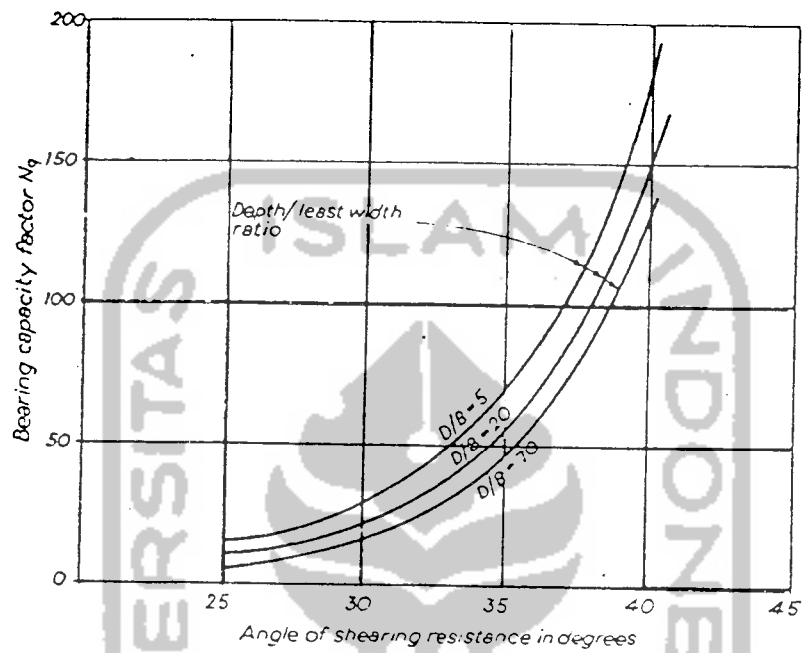
$$Q_{p \text{ ult}} = N_q P_d A_b \dots \dots \dots (3.5.)$$

dimana:

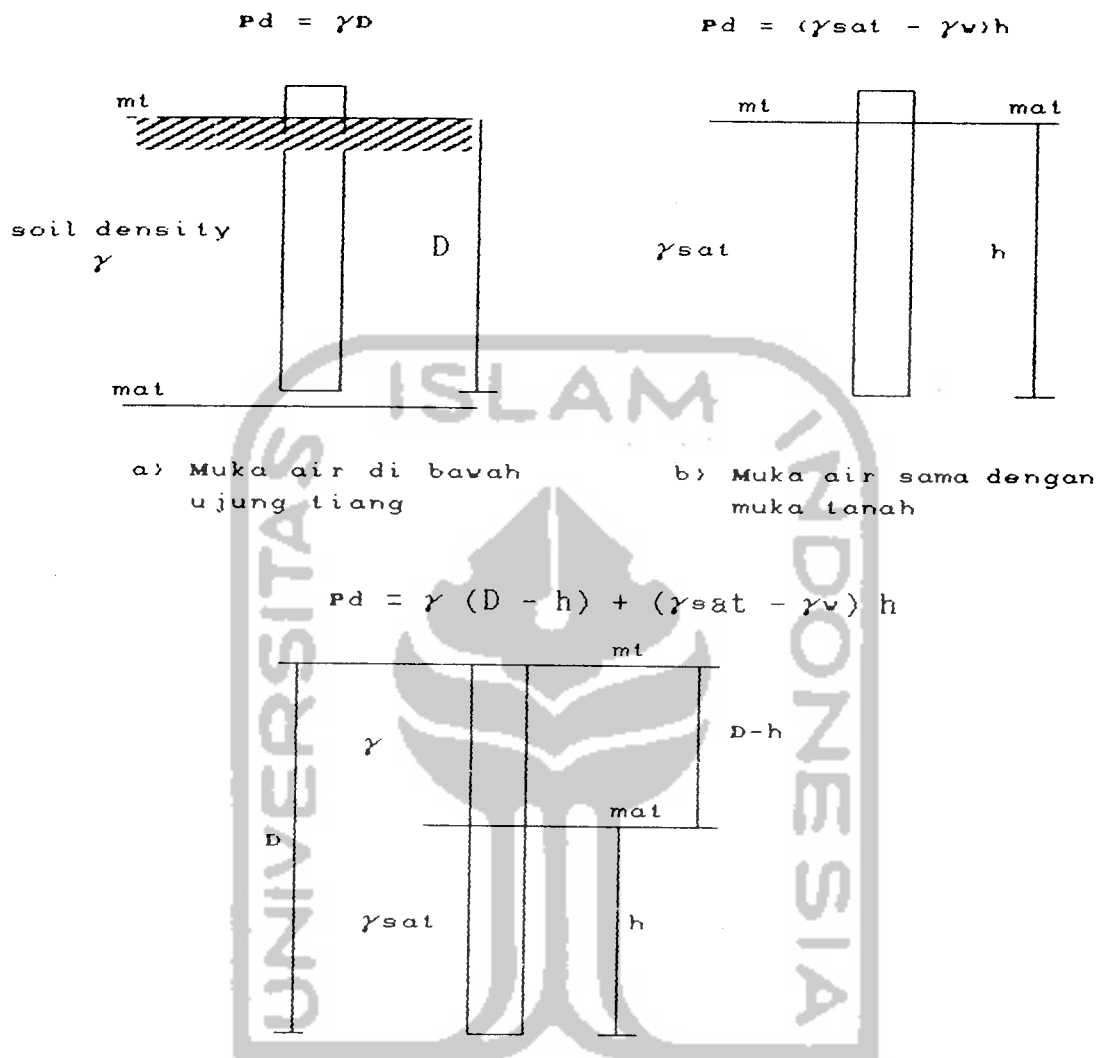
$N_q$  = Faktor daya dukung (lihat pada gambar 3.5)

$P_a$  = Tekanan tanah efektif (lihat gambar 3.6)

$A_b$  = Luas potongan ujung tiang



Gambar 3.5. Bearing capacity factors  $N_q$



Gambar 3.6. Berbagai kondisi pada penentuan tekanan tanah efektif.

Tomlinson 1977, mengusulkan untuk memberi batasan kapasitas daya dukung ujung pada pasir sebesar  $107,6391 \text{ kg/cm}^2$ .

b. Tahanan kulit ( $Q_s$ )

$$Q_s \text{ ult} = 1/2 \cdot k_s \cdot p_d \cdot \text{tg } \delta \cdot A_s \dots\dots\dots(3.6.)$$

dimana:

$P_d$  = Tekanan tanah efektif (lihat gambar 3.6)



$K_s$  = Koefisien tekanan tanah (Touma dan Reese memberikan nilai 0,7 untuk tiang bor)

$\delta$  = Sudut gesek antara tanah dan tiang (Touma dan Reese memberikan harga  $\delta = \phi$  pada tiang bor)

$A_s$  = Luas permukaan selimut tiang bor

Tomlinson 1977, mengusulkan untuk berbagai kondisi, daya dukung perencanaan untuk tahanan kulit sebesar  $= 1,0764 \text{ kg/cm}^2$ , dan daya dukung tahanan ujung sebesar  $107,6391 \text{ kg/cm}^2$ .

### 3.2.3. Daya Dukung Tiang Pada Tanah Antara Pasir dan Tanah Lempung

Pada tanah ini dimana mempunyai nilai kohesi dan sifat gesek ( $c - \phi$ ) seperti pada sandy clay, sandy silt dan silty atau clayey sand. Daya dukung ujung dihitung berdasarkan koefisien  $N_c$  dan  $N_q$  dari Terzaghi dan Peck untuk persamaan di bawah ini (Tomlinson, 1977)

$$Q_b = A_p [1,3 c N_c + p_o (N_q - 1) + a_y \gamma B N_q] \dots \dots \dots (3.7)$$

Dimana:

$A_p$  = Luas ujung tiang  $\text{cm}^2$

$c$  = Nilai kohesi undrained tanah ( $\text{kg/cm}^2$ )

$p_o$  = Tegangan efektif tanah sampai ujung tiang ( $\text{kg/cm}^2$ ) dihitung seperti gambar

$\gamma$  = Berat jenis tanah ( $\text{kg/cm}^3$ )

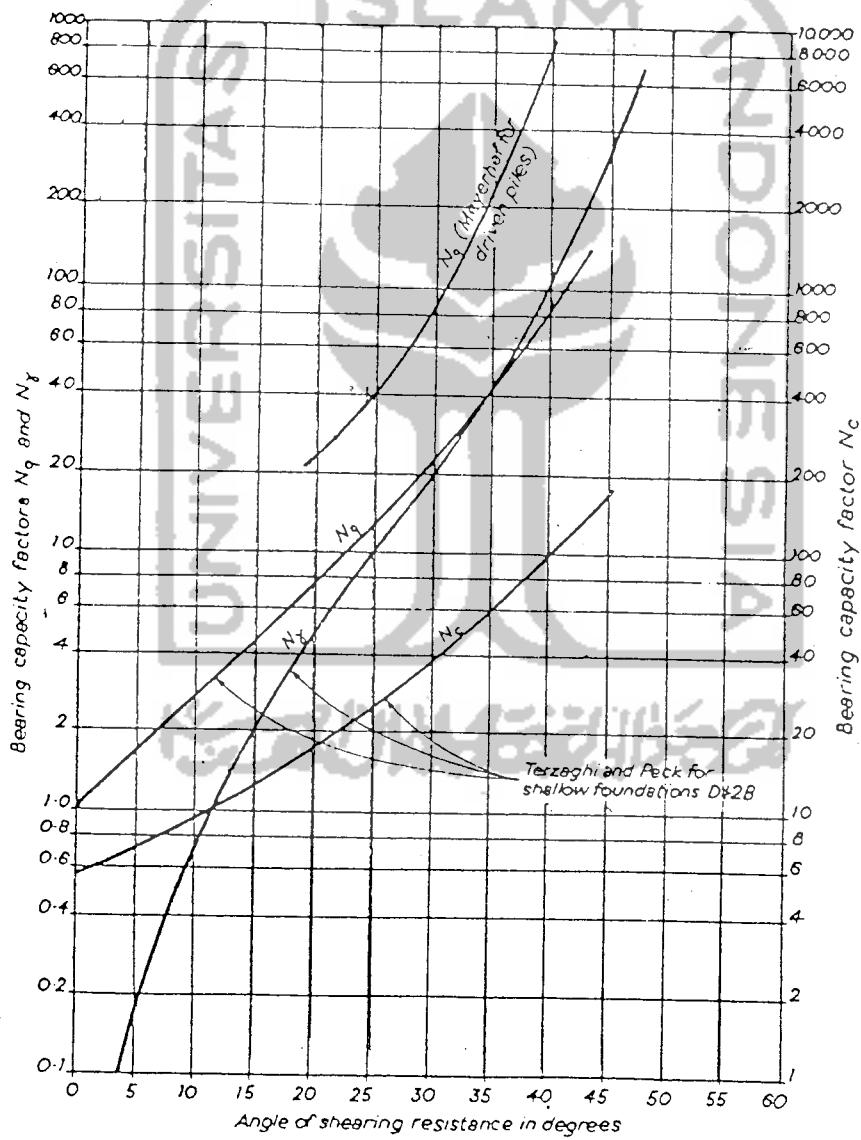
$a_y$  = faktor penampang:

- persegi  $a_y = 0,4$
- bulat  $a_y = 0,3$

B = Diameter tiang

$N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  = koefisien daya dukung Terzaghi (gambar 3.7)

Tomlinson memberikan batasan untuk daya dukung ini, harga kapasitas dukung ultimitnya tidak melebihi 100 T/ft<sup>2</sup> (107,6391 kg/cm<sup>2</sup>).



Gambar 3.7. Koefisien daya dukung Terzaghi

### 3.3. Daya Dukung Menurut Rumus Empiris

#### 3.3.1. Daya Dukung Tiang Berdasarkan Hasil Pengujian "Cone Penetration Test" (CPT)

Penentuan daya dukung tiang berdasarkan grafik pengujian sondir, dapat dipakai beberapa metode sebagai berikut:

##### 1. Rumus Wesley

Rumus yang digunakan Wesley merupakan rumus yang banyak dipakai di Indonesia. Daya dukung ultimit tiang adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q &= Q_p + Q_s \\ &= p \cdot A + f \cdot o \dots\dots\dots(3.8) \end{aligned}$$

Dimana:

$Q_p$  = Daya dukung ultimit ujung tiang (kN)

$Q_s$  = Daya dukung ultimit tiang karena gesekan atau lekatan (kN)

$p$  = Nilai konis rata-rata ( $\text{kN/m}^2$ )

$A$  = Luas tampang tiang ( $\text{m}^2$ )

$f$  = Jumlah total hambatan pelekat pada ujung pondasi ( $\text{kN/m}$ )

$o$  = Keliling tiang (m)

Daya dukung tiang ijin,  $\bar{Q}$

$$\bar{Q} = \frac{p \cdot A}{SF_1} + \frac{f \cdot o}{SF_2} \dots\dots\dots(3.9)$$

Dengan:

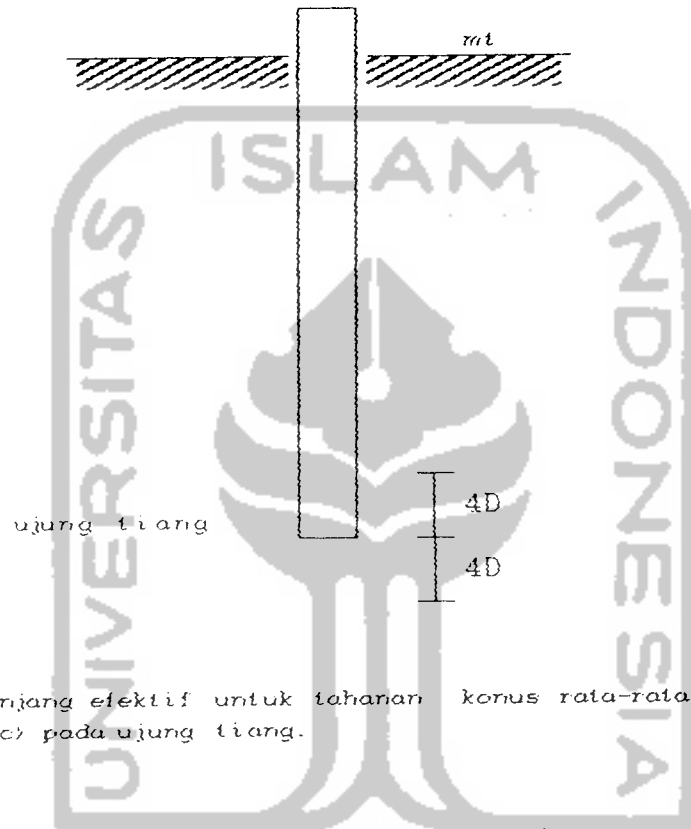
untuk pasir murni  $SF_1 = 3$

$SF_2 = 5$

untuk lempung  $SF_1 = 5$

$SF_2 = 10$

Untuk tahanan konus rata-rata ( $p$ ) pada ujung tiang diambil sebesar  $4D$  di atas ujung tiang dan  $4D$  di bawah ujung tiang (lihat gambar 3.8).



Gambar 3.8 Panjang efektif untuk tahanan konus rata-rata ( $q_c$ ) pada ujung tiang.

## 2. Metode Tomlinson modifikasi NV. Nayak

Metode Tomlinson yang dimodifikasi NV. Nayak menghitung kapasitas daya dukung tiang dari data CPT berdasarkan data tahanan konus ( $Q_c$ ), dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{up} = C_{dk} A_p + \frac{C_{dk}}{200} A_s \dots\dots\dots(3.10)$$

$$Q_{ap} = \frac{Q_{up}}{3} \dots\dots\dots(3.11)$$

dimana:

$Q_{up}$  = Kapasitas daya dukung ultimit (kN)

$Q_{ap}$  = Kapasitas daya dukung ijin (kN)

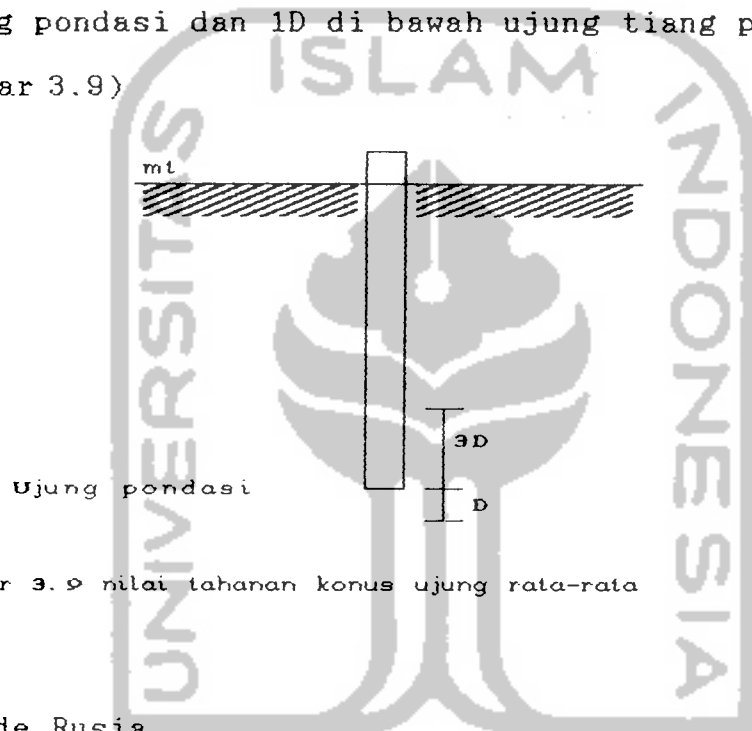
Ckd = Tahanan konus ujung rata-rata ( $\text{kN/m}^2$ )

Ap = luas penampang ujung tiang ( $\text{m}^2$ )

Cdk = Tahanan konus rata-rata sepanjang tiang  
( $\text{kN/m}^2$ )

As = Luas selimut tiang ( $\text{m}^2$ ).

Tahanan konus ujung rata-rata diambil 3D diatas ujung tiang pondasi dan 1D di bawah ujung tiang pondasi (lihat gambar 3.9)



Gambar 3.9 nilai tahanan konus ujung rata-rata

### 3. Metode Rusia

Metode Rusia memberikan persamaan kapasitas daya dukung tiang berdasarkan nilai tahanan konus ( $q_c$ ) dan berdasarkan nilai gesekan lokal sepanjang tiang, sebagai berikut:

$$Q_{up} = Q_c A + U D F_s \dots\dots\dots(3.12)$$

$$Q_{ap} = \frac{Q_{up}}{4} \dots\dots\dots(3.13)$$

Dimana:

$Q_{up}$  = Tahanan daya dukung ultimit (ton)

$Q_{ap}$  = Tahanan daya dukung ijin (ton)

$Q_c$  = Tahanan konus ujung rata-rata ( $\text{kg/cm}^2$ )

$A$  = Luas penampang ujung pondasi ( $\text{cm}^2$ )

$U$  = Keliling penampang pondasi (cm)

$D$  = Kedalaman pondasi (cm)

$F_s$  = Rata-rata gesekan lokal sepanjang tiang ( $\text{kg/cm}^2$ ).

Tahanan konus ujung rata-rata diambil  $4D$  di atas ujung pondasi dan  $1D$  di bawah ujung pondasi (lihat gambar 3.9).

### 3.2.2. Daya Dukung Tiang Berdasarkan Hasil Pengujian "Standard Penetration test" (SPT)

Untuk menghitung daya dukung berdasarkan data pengujian SPT digunakan rumus sebagai berikut:

#### 1. Metode langsung (N V Nayak, 1982)

$$Q_{up} = 40 N A_p + \frac{\bar{N} A_s}{5} \dots \dots \dots (3.14)$$

$$Q_{ap} = \frac{Q_{up}}{4} \dots \dots \dots (3.15)$$

dimana:

$Q_{up}$  = daya dukung ultimit tiang (ton)

$N$  = nilai  $N$  (SPT) rata-rata pada ujung tiang sampai  $2D$  di bawah ujung tiang

$\bar{N}$  = nilai  $N$  (SPT) rata-rata sepanjang tiang

$A_p$  = luas potongan melintang ujung tiang ( $\text{m}^2$ )

$A_s$  = luas selimut tiang sepanjang tiang ( $\text{m}^2$ )

$Q_{ap}$  = daya dukung izin tiang

2. Menurut L. Decourt (1982), Daya dukung ultimit tiang dapat dihitung sebagai berikut:

a. Daya dukung ujung,  $Q_p$

Untuk memperkirakan daya dukung ujung diambil rata-rata 3 nilai N di atas ujung tiang fondasi.

$$\bar{N}_p = \frac{\sum N}{3}$$

Daya dukung ultimit ujung dinyatakan dengan:

$$Q_p = \bar{N}_p K A_p \dots\dots\dots(3.15)$$

Dimana:

$\bar{N}_p$  = rata-rata nilai N

K = koefisien tanah (lihat tabel 3.1.)

Tabe 3.1 Koefisien tanah menurut L. Decourt

Jenis tanah	K (kpa)	K (t/m <sup>2</sup> )
Tanah lempung	118	12
Lanau berlempung	196	20
Lanau berpasir	245	25
Pasir	392	40

b. Kapasitas gesekan tiang

Untuk mencari kapasitas gesekan tiang perlu mempertimbangkan rata-rata nilai N sepanjang tiang. Besar gesekan sepanjang tiang ( $f_s$ ) adalah sebagai berikut:

$$f_s = \bar{N}/3 + 1$$

Dimana:

$\bar{N}$  = rata-rata jumlah pukulan sepanjang tiang,  $N/n$

$n$  = jumlah titik yang ditinjau

Daya dukung akibat gesekan,  $Q_s$

$$Q_s = f_s p l \dots\dots\dots(3.17)$$

dengan:

$f_s$  = gesekan sepanjang tiang

$p$  = keliling tiang

$l$  = kedalaman

Daya dukung ijin ( $Q_{ap}$ )

$$Q_{ap} = \frac{Q_p + Q_s}{3} \dots\dots\dots(3.18)$$

Menurut Terzaghi dan Peck (1948), untuk lanau dan pasir jenuh dengan nilai  $N$  lebih besar dari 15 maka nilai  $N$  harus dikoreksi menjadi:

$$N = 15 + 1/2 (N' - 15) \dots\dots\dots(3.19)$$

Dimana:

$N$  = Nilai  $N$  yang terkoreksi

$N'$  = Nilai  $N$  lapangan

### 3.3.3. Interpretasi daya dukung tiang tunggal berdasarkan data uji pembebanan ("Pile Loading Test")

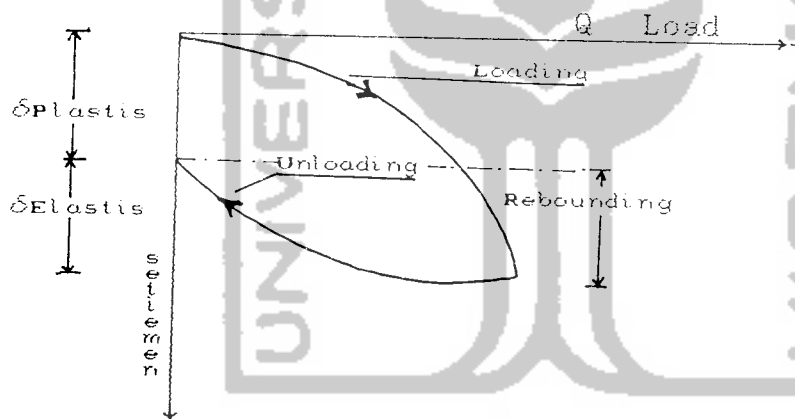
#### 1. Umum

Seperti telah dibicarakan pada sub bab 2.3, prosedur pembebanan umumnya dilakukan dengan memberikan beban secara bertahap. Tahap pembebanan dilakukan dengan cara penambahan



dan pengurangan beban pengujian pada meja beban. Pembebanan yang dilakukan biasanya sampai 200% dari beban perencanaan.

Dengan penambahan dan pengurangan beban uji sebesar 25%, prosedur yang umum adalah dengan meningkatkan beban uji sampai jumlah tertentu lalu mengurangi beban uji hingga tanpa beban uji sampai kenaikan atau reaksi elastik tanah ("rebound") berhenti. Tiang kemudian dibebani lagi sampai beban kerja kemudian sampai beban maksimum (200% beban rencana). Penambahan dan pengurangan ini merupakan siklus pembebanan atau disebut sebagai pembebanan cyclic ("Cyclic Loading Test").



Gambar 3.10. Grafik pembebanan terhadap penurunan

Pengurangan beban dilakukan tahap demi tahap dengan diberi waktu jeda tiap tahap, selanjutnya hingga reaksi tanah ("rebound") berhenti sebelum pengurangan beban selanjutnya.

Prosedur penambahan dan pengurangan beban secara tepat sering dispesifikasikan oleh kode bangunan atau satu

organisasi konstruksi. Pada pengujian ini prosedur pembebanan dengan sistim cyclic ("Cyclic Loading Test") yang dispesifikasikan ASTM D 1143-89 untuk beban rencana 250 ton.

## 2. Metode Mazurkowick

Metoda ini dilakukan dengan cara membagi jarak penurunan total secara sembarang menjadi bagian-bagian yang sama dan memotong kurva beban vs penurunan. Dari perpotongan ini kemudian ditarik garis ke atas tegak lurus sumbu beban sehingga memotong garis sumbu beban. Kemudian dari titik-titik perpotongan garis beban dengan sumbu beban, dibuat garis dengan sudut  $45^{\circ}$  sehingga memotong garis-garis beban yang lain. Dari titik-titik perpotongan tersebut dibuat garis lurus dan titik dimana garis itu berpotongan dengan sumbu beban merupakan besar dari beban runtuh  $P_u$ .