dangkal dari muka tanah.

Dangkal disini sangat relatif pengertiannya. Tentunya kedangkalan tersebut karena kondisi tanah yang memungkinkan. Tetapi dari beberapa ahli mekanika tanah/fondasi dikatakan bahwa ketentuan fondasi dangkal adalah hubungan antara kedalaman fondasi dari muka tanah (Df) dan lebar terkecil dari plat fondasinya (B).

Terzaghi (1943) mengatakan bahwa fondasi dangkal adalah jika Df<=B, sedangkan pada penemuan berikutnya oleh beberapa ahli dikatakan bahwa Df <= 3 @ 4 kali B.
Pada umumnya dasar dari fondasi dangkal diletakkan pada lapisan tanah yang mempunyai daya dukung relatif kecil dibandingkan dengan beban yang harus dipikul fondasi tersebut, sehingga untuk memperkecil tegangan kontak yang terjadi, dilakukan perbesaran dasar fondasi. Oleh karena itu untuk menentukan macam fondasi dangkal yang digunakan, yang terpenting adalah tinjauan terhadap daya dukung tanah dan beban yang akan bekerja, selain tentunya ada juga pertimbangan tentang elevasi muka air tanah. Fondasi dangkal dapat langsung diletakkan pada suatu perbaikan tanah.

2.3. Fondasi Dalam ("*Deep Foundation*")

Sebagai mana fondasi dangkal, maka fondasi dalam dapat didefinisikan sebagai fondasi dengan Df >>> B.

Secara umum, fondasi dalam digunakan untuk meneruskan beban yang ada dipermukaan tanah ke suatu stratum tertentu yang dapat menahan beban tersebut, yang letaknya relatif dalam.

Jenis fondasi dalam yang banyak digunakan adalah fondasi ("*Pile Foundation*"), dimana fondasi tiang dapat digunakan untuk berbagai kegunaan antara lain :

1. Untuk meneruskan beban melewati air atau tanah lunak ke suatu stratum dukung yang cocok, dimana stratum tersebut dapat sepenuhnya menahan beban yang ada. Fondasi tiang ini disebut dengan *End bearing* atau *Point bearing piles*.
2. Jika bearing stratum yang dimaksud diatas, terletak sangat dalam, maka beban yang dialami oleh tiang fondasi akan ditahan oleh adanya tahan gesekan antara tanah dengan permukaan tiang. Fondsi tiang ini disebut dengan *Friction piles*.
3. Dengan adanya fondasi tiang yang jumlahnya relatif banyak, maka akan terjadi pemadatan tanah sekitar-nya, sehingga akan meninggikan daya dukung tanah. Fondasi tiang ini disebut dengan *Compaction piles*.
4. Untuk menahan adanya beban horizontal yang cukup besar akibat "*berthing force*" pada dermaga, fondasi tiang ini disebut dengan *Batter piles*.

FAKULTAS TEKNIK

5. Pada tanah yang mudah kembang susut karena perubahan kadar air ("*expansive soils*"), fondasi tiang harus diletakkan pada tanah yang setabil. Fondasi tiang ini akan menahan beban aksial, tapi saat perubahan kondisi tanah diatasnya, yang ini harus menahan gaya tarik. Untuk abutment jembatan, biasanya diperlukan fondasi tiang, karena tanah bagian atas kurang stabil, mudah longsor karena erosi dan lain-lain.

2.3.1. Macam Fondasi tiang Berdasar Bahan yang Digunakan

1. Tiang Kayu

   Penggunaan kayu sangat terbatas untuk kondisi beban yang tidak terlalu besar, biasanya beban rencana maxsimum 25 ton per tiang.

   Keuntungan penggunaan tiang kayu :

   - biaya pembuatan relatif murah
   - kayu merupakan bahan peredam kejutan yang baik, hal ini penting saat pemancangan

   Kerugian penggunaan tiang kayu :

   - perlu pengolahan sebelum dipasang
   - daya dukung beban relatif rendah
   - tidak awet terutama yang terendam air

Menurut ASCE, fondasi tiang kayu dibagi atas :

- klas A, digunakan untuk beban besar, diameter minimum 360 mm
- klas B, digunakan untuk beban sedang, Diameter minimum 300 mm
- klas C, digunakan dibawah muka air tetap atau pekerjaan sementara, diameter minimum 300 mm

2. Tiang Beton

a. Tiang Beton pracetak ("*precast concrete pile*")

Tiang beton precast concrete pile dibuat di pabrik kemudian diangkut kelokasi pekerjaan atau jika areal memungkinkan dapat juga dibuat dilokasi pekerjaan, hal ini akan mengurangi biaya pengangkutan. Tiang beton precast ini cara memasukkan kedalam tanah dengan dipancang, sehingga biasanya disebut tiang pancang. Tiang pancang ini dapat dibuat dengan penulangan biasa (konvensional) atau dengan penulangan "*Prestress*" (prategang).

Tiang pancang dengan penulangan biasa harus dapat menahan :

- tegangan lentur (akibat momen) saat pengangkatan dan pengangkutan
- tegangan lentur (akibat momen) karena adanya beban lateral

- beban aksial/vertikal
- tegangan-tegangan yang timbul saat "*driving*" atau pemancangan

Pada umumnya tiang pancang prategang, menggunakan beton dengan σ_{bk} antara 350 - 550 kg/cm^2. Pembuatannya dengan cara "*pretensioning*" artinya tendon ditegangkan dahulu, baru kemudian beton dicor dan kabel prategang diputus.

Pada tiang pancang prategang akan dijumpai dimensi yang lebih kecil dibandingkan dengan tiang pancang "*ordinary*" (biasa).

Keuntungan tiang pancang :

- dapat menahan beban cukup besar
- merupakan tiang permanen
- dapat digunakan untuk instalasi yang berhubungan air laut
- kapasitas daya dukungnya dapat diketahui pada saat *driving*.

Kerugian tiang pancang :

- membutuhkan areal yang cukup luas dilokasi pekerjaan
- saat pemancangan menimbulkan getaran yang cukup besar

- membutuhkan alat berat untuk pengangkutan dan pemancangan
- karena pancang tiang tertentu, maka harus dilakukan penyambungan jika diperlukan tambahan panjang tiang

b. Tiang Beton "*Cast-in place*" (cor ditempat)

Tiang beton ini jelas dikerjakan dilokasi pekerjaan bahkan pengecorannya dilakukan dilokasi tiang. Tiang ini dibuat dengan terlebih dahulu dilakukan pengeboran lubang tiang, diisi tulangan kemudian dicor beton. oleh karena itu jenis tiang ini disebut juga dengan "*bored pile*" atau tiang bor.

Tiang bor dibagi dalam beberapa type :

b.1 Dengan menggunakan ("*casing*") artinya pengeboran tanah bersama dengan masuknya casing kedalam tanah. Ini biasanya dilakukan pada tanah lepas.

Keuntungan dengan menggunakan ("casing")

- aman terhadap keruntuhan tanah pada lubang bor
- aman terhadap hilangnya air campuran beton
- tampang lintang tiang seragam untuk berbagai ketinggian
- kedalaman yang dicapai relatif besar

Kerugian dengan menggunakan ("casing")

- jika casingnya ditinggal maka akan mengurangi gesekan antara tiang dan tanah, ini berpengaruh pada perhitungan kapasitas tiang berdasarkan gesekan
- jika casingnya tidak ditinggal maka harus hati-hati saat pencabutan casing

b.2 Tanpa menggunakan ("*Casing*") artinya tanah dibor sampai kedalaman yang dikehendaki, kemudian setelah besi tulangan dipasang, dilakukan pengecoran. Tiang ini biasanya digunakan pada tanah lempung, dan dengan kedalaman yang relatif kecil sampai sedang. Adapun kerugian dan keuntungan nya merupakan kebalikan dari penggunaan tiang dengan "casing".

c. Type Tiang "*Pedestal*"

Tiang ini juga termasuk tiang cor ditempat (*Cast-In Place Piles*). Jenis tiang ini dapat dengan atau tanpa menggunakan "casing" tetapi dengan pembesaran pada ujung bawahnya ("*Enlarged base*"). Dengan adanya penambahan luas dukungan pada ujungnya, maka akan dapat meninggikan kapasitas dukungnya. Fondasi tiang

jenis ini sekarang banyak dijumpai sebagai tiang Franki ("*Franki Piles*").

3. Tiang Baja

Bentuk dari tiang baja biasanya profil "H" atau pipa (bulat dengan lubang bagian tengah), atau dapat juga bentuk batang "WF" atau "I". Untuk tiang baja bentuk pipa, dapat menggunakan pipa dengan ujung bawah terbuka atau tertutup.

Keuntungan tiang baja :

- dapat mendukung beban relatif besar
- dapat dilakukan penetrasi pada lapisan tanah keras

Kerugian tiang baja :

- dapat terjadi kerusakan tiang karena adanya korosi serta peristiwa elektrolisa.
- tidak efektif untuk digunakan sebagai "friction pile"

Dalam Tugas Akhir ini akan dibahas fondasi tiang yang termasuk tipe "Padestal" yaitu fondasi Franki.

2.3.2. Macam Fondasi Tiang Berdasar Pelaksanaannya

Berdasarkan pelaksanaannya maka fondasi tiang dapat di bedakan atas 3 macam :

1. Non Displacement pile, yaitu : Tiang yang dipancang dengan mengebor tanah sekelilingnya kemudian dicor menggunakan beton.

   Contohnya : - Tiang Bor (Bored pile)

2. Displacement pile, yaitu : Tiang yang dipasang dengan memancang suatu bentukan tiang yang sudah jadi (pre formad pile) kedalam tanah.

   contohnya : - Tiang pracetak (precast pile),
   - Prestressed pile,
   - Tube pile,
   - Steel pile.

3. Extra Displacement Pile, yaitu : Tiang yang dipasang dengan memadatkan bahan pembentuk tiang kedalam tanah (high pressure injected piles).

   contohnya : - Franki pile

(1. Diambil dari bahan Short Course "Aplikasi qc- CPT dan dan N-SPT dalam perencanaan tiang fondasi" UII tgl 12 oktober 1993).

3.2. Pengertian Fondasi Tiang Franki

Fondasi ini termasuk tipe "Cast-in situ" (cor di-tempat), yang lebih khusus lagi termasuk tipe tiang ("Pedestal") yaitu tiang dengan pembesaran pada ujung tiang.

Pada pembuatannya fondasi jenis ini menggunakan ("casing") dari baja sebagai acuan atau alat bantu pem-bentukan tiang.

Lubang untuk pembuatan tiang dibuat langsung dengan memancangkan ("casing") yang disumbat ujungnya dengan batu (*split*), jika tanah dilokasi pembuatan tiang sangat keras maka lubang untuk ("casing") dapat dibuat dengan bor hingga mencapai elevasi yang diinginkan, dengan kata lain pemboran dilakukan jika tanah di lokasi pembuatan tiang sangat keras sehingga pemancangan "casing" tidak bisa dilakukan (*"Preboring"*).

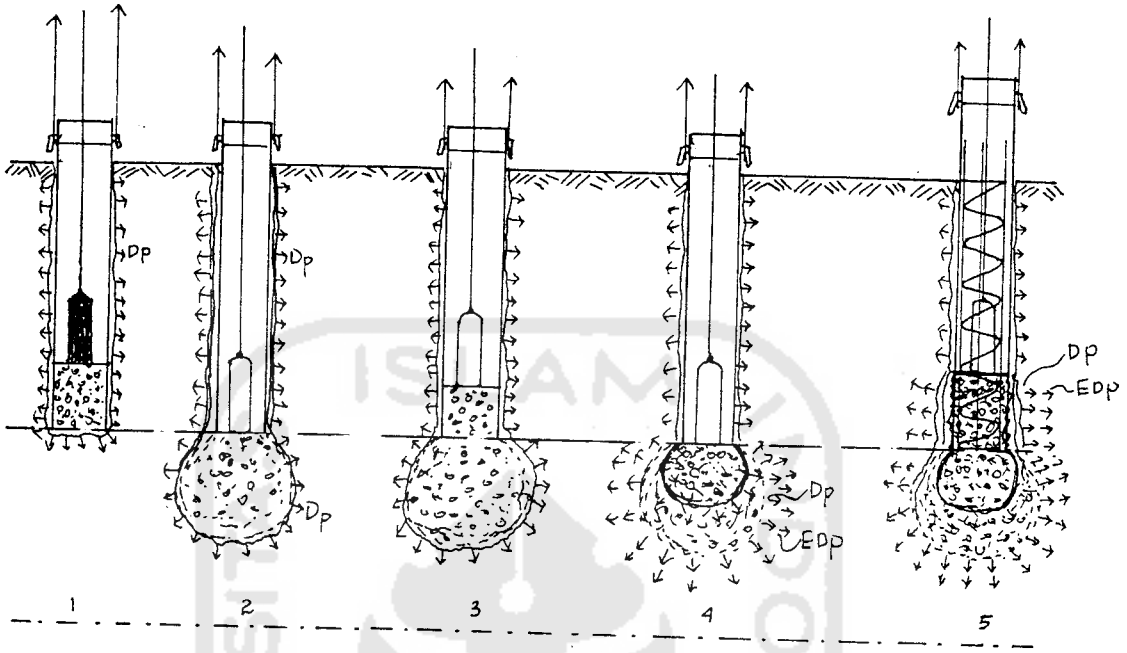
Jenis fondasi ini dapat juga disebut dengan *Extra Displacement pile*, maksudnya adalah pada saat pembuatan fondasi Franki ini terjadi dua kali proses pemindahan tanah, yaitu disekitar selimut tiang (*deformasi lateral*) dan di ujung tiang (*deformasi vertikal*) sehingga daya dukung pada "*Friction*" dan "*End Bearing*" semakin besar.

Untuk lebih jelas dapat dilihat pada keterangan berikut :

1. Saat pemancangan "casing" (yang ujungnya disumbat) dengan "split" akan terjadi pemindahan tanah (Dis-placement), yang mengakibatkan terjadinya deformasi

lateral di sekitar "casing' dan deformasi vertikal di ujung "casing".

2. Pelepasan sumbat "casing" akan membentuk "*Base*" yang akan mengakibatkan terjadinya Deformasi vertikal yang relatif besar diujung tiang.
3. "Casing" diisi lagi dengan beton kering (semen dan split untuk pembuatan base utama (ujung tiang Franki)
4. Ketika ujung tiang dibuat maka akan terjadi pendesakan tambahan pada "base" (wilayah) pertama, berarti disini terjadi dua kali perpindahan tanah pada ujung tiang dan tanah akan semakin padat, sehingga daya dukung akan semakin besar.
5. Saat pembuatan tiang, beton kering (semen, krikil dan pasir) dimasukkan kedalam "casing" dan pemukulan dengan hammer terus dilakukan seiring dengan pencabutan "casing". Akibat pemukulan pada beton tersebut, beton akan perlahan-lahan keluar dari "casing" dan akan mendesak ke arah samping (deformasi lateral terjadi lagi), akibatnya terjadi dua kali proses pemadatan lateral dan permukaan tiang menjadi kasar dan menyatu dengan permukaan, maka daya dukung pada selimut tiang akan semakin besar Dengan terjadi dua kali proses pemadatan akibat perpindahan tanah lateral dan vertikal disekitar tiang Franki maka disebut *Extra Displacement Pile*. lihat gambar 3.1



Gambar 3.1. Proses Extra Displacement Pile

Dimana : DP = Displacement Volume of Ground

EDP = Extra Displacement Volume of Ground

1. Analisis Statis.
2. Analisis Dinamis.
3. Loading Test.

4.1.1. Analisis Statis

Yang dimaksud dengan analisis statis, adalah penggunaan bearing capacity formula dengan menggunakan strength para meter yang diperoleh dari uji laboraturium.

Persamaan umum untuk estimasi daya dukung ultimite total tiang tunggal untuk jenis fondasi tiang *Cast-in situ* (dapat juga disebut *Extra Displacement pile*) yaitu :

$$Pu = Pbu + Psu \longrightarrow \quad (4\text{-}1)$$

dimana :

Pu = daya dukung ulitmite tiang

Pbu = daya dukung ujung tiang (*End bearing pile*)

Psu = daya dukung selimut/dinding tiang (*Shaft resistance*)

Pada analisis statis besarnya Pu dapat ditentukan dengan menggunakan rumus empiris langsung berdasarkan data uji langsung.

4.1.1.a. Dari uji laboratorium

Dari beberapa sampel yang diuji di laboratorium, didapat beberapa *strength parameter, antara lain* : c, Ø, γ dan lain-lain. Dari hasil tersebut, dengan rumus empiris dapat ditentukan :

Nilai Pu :

Daya dukung tanah untuk tiang :

$$qu = c\ Nc' + q\ Nq' + \gamma D\ N\gamma'$$

sehingga :

$$Pu = Ap\ qu = Ap(cNc' + qNq' + \gamma D\ N\gamma') \quad \longrightarrow (4\text{-}2a)$$

dimana :

Ap = luas dukungan

c = kohesi tanah pendukung

q = tegangan effektif pada tanah dasar

Nc', Nq' = faktor daya dukung

Karena D relatif kecil, maka $\gamma D.N\gamma'$ dapat diabaikan :

$$Pu = Ap\ (cNc' + qNq')$$

Untuk tiang pada tanah lempung jenuh, kondisi tidak berdrainasi ("*undrained*") dimana Ø = 0 ; maka :

$$Pu = Nc'\ cu\ Ap$$

sedangkan untuk Ø = 0 , Nc' = 9 maka :

$$Pu = 9\ cu\ Ap$$

cu = kohesi dalam keadaan tak berdrainasi (*undrained cohesion*)

Disini dapat dilihat dengan pembesaran ujung tiang pada fondasi Franki, maka diameter wilayah ujung tiang (Ap) akan semakin besar yang mengakibatkan daya dukung ujung (*End bearing*) akan semakin besar.

Nilai Ps (ΣPs)

Adanya gesekan antara tiang fondasi dengan tanah sekelilingnya akan menambah besarnya daya dukung tiang

dalam menahan beban. Karena tiang fondasi relatif panjang sedangkan kondisi parameter tanah akan berubah dengan kedalaman, maka tahanan gesekan keseluruhan adalah merupakan penjumlahan dari gesekan tiap satuan kedalaman sehingga dapat ditulis.

$$Ps = \Sigma As\ fs \longrightarrow \qquad (4\text{-}2b)$$

dimana :

As = luas selimut tiang dalam satuan panjang tertentu, yang besarnya sama dengan keliling tiang dikalikan dengan panjang yang ditinjau

fs = tahanan gesekan

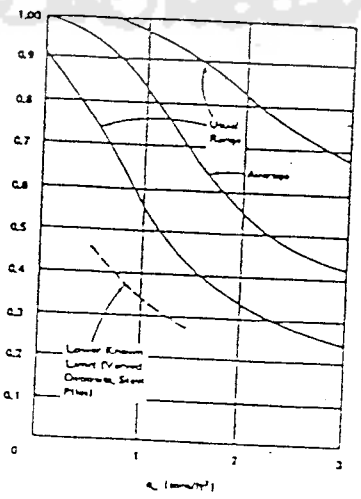
Besarnya fs dapat dicari dengan dengan beberapa cara, yang salah satunya dicari dengan "metode α".

Metode α diusulkan oleh Tomlinson (1971) dengan menggunakan rumus :

$$fs = \alpha\, c + \bar{\sigma}_v\, k_o \tan \delta$$

dimana :

α = koefisien dari gambar 4.1.



Gambar 4.1. Hubungan faktor adhesi dengan q_u $\left(\frac{1T}{f_1}\right)^2$ =9,77 T/m^2

dimana :

c = kohesi rata-rata untuk lapisan tanah yang diperlukan

$\overline{\sigma_v}$ = tegangan vertikal efektif

k_o = koefisien tekanan tanah lateral (k_o= 1-sin ø)

δ atau ø = Sudut gesekan efektif antara tanah dan bahan tiang pancang

Nilai q_u pada tabel 4.1 dapat dicari dengan rumus $q_u = 2c$. Dengan di peroleh nilai q_u maka nilai α dapat ditentukan.

Dari rumus Daya dukung selimut tiang (Ps) dapat dilihat bahwa kemampuan daya dukung selimut tiang tergantung pada besarnya parameter yang diperoleh dan luas selimut tiang yang efektif.

Jadi untuk Daya dukung selimut tiang (*Friction*) pada Franki pile dan tiang pancang tidak ada perbedaan yang mendasar seperti pada daya dukung tiang ("*End bearing*"), dimana terlihat bahwa tiang Franki akan mempunyai kemampuan daya dukung "End bearing" yang relatif besar dikarenakan pembesaran diameter pada ujung tiangnya. Hal ini juga dapat dilihat pada metode hitungan dengan menggunakan CPT dan SPT.

4.1.1.b. Menggunakan q_c- CPT Secara Langsung

Dengan melakukan analogi antara ultimate failure dari ujung tiang dengan ujung konus pada Cone Penetration Test (CPT), maka persamaan (4-1) diatas bila dinyatakan langsung dengan hasil q yang diperoleh dari CPT menjadi

$$Pu = k_1 \, q_c \, A_b + k_2 \, \frac{\overline{qc}}{k_3} \, As \longrightarrow \quad (4\text{-}3)$$

dimana :

$$Pbu = k_1 \, q_c \, A_b \longrightarrow \quad (4\text{-}3a)$$

$$Psu = k_2 \, \frac{\overline{q_c}}{k_3} \, As \longrightarrow \quad (4\text{-}3b)$$

k_1 dan k_2 = faktor-faktor yang besarnya tergantung kepada cara instalasi tiang (tabel 4.1)

k_3 = faktor yang tergantung kepada jenis tanah sekitar dinding tiang dan besarnya dapat diambil sebagai berikut : $k_3 = 50$ Clay

$k_3 = 100$ Silt

$k_3 = 200$ Pasir

q_c = tahanan ultimate ujung tiang yang diperoleh dari grafik q_c - CPT dan ditentukan besarnya dengan cara Van Der veen Fugro atau cara lain (lihat gambar 4.2)

$\overline{q_c}$ = harga rata-rata q_c sepanjang dinding tiang

A_b = luas penampang ujung tiang (Area of Pile Tip)

As = luas selimut/dinding tiang (Pile Shaft Area)

Bila pada kedalaman yang dicapai, harga q_c - CPT tidak terdapat melainkan yang ada hanyalah harga N - SPT, maka perkiraan daya dukung ultimate tetap dapat dilakukan menggunakan cara diatas dengan terlebih dahulu merubah harga N - SPT menjadi q_c - CPT melalui korelasi (lihat tabel 4.2.a).

PILE DESIGN TO CATER FOR INSTALLATION EFFECTS

PILE CLASSIFICATION	SOIL TYPE	FRANKI WET SHAFT DISPLACEMENT	FRANKI HAMMERED SHAFT EXTRA DISPLACEMENT	PREFORMED CONCRETE DISPLACEMENT	PREFORMED STEEL DISPLACEMENT	GROUT INJECTED NON-DISPLACEMENT	BORED NON-DISPLACEMENT
End Bearing Factor K_1	Sand	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	0.6
	Clay & Silt	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8
Shaft Adhesion Factor K_2	Sand	1.0	1.3 - 1.5	1.0	1.0	0.8 - 1.2	0.6 - 0.8
	Clay & Silt	0.8 - 1.0	1.3 - 1.5	1.0	0.55 for q_c > 1 MPa	0.8 But > 50 KPa	0.6 - 0.8

End Bearing $P_{bu} = K_1 \times q_c \times A_b$

Shaft Adhesion $P_{su} = K_2 \times f_s \times A_s$

$$f_s = \frac{\bar{q}_c}{K_3}$$

Total Capacity $P_u = P_{bu} + P_{su}$

Legend :

K_1 & K_2 = factors depending on installation method. (see table).

q_c = Ultimate end bearing stress for a displacement pile from De Beer, Van Der Veen or LGM Analysis.

A_b = Area of Base.

A_s = Area of Shaft.

f_s = Ultimate shaft friction for a displacement pile.

Tabel : 4.1 Untuk menentukan faktor k_1 dan k_2

Sumber dari Franki

PENGAMBILAN HARGA q_c TAHANAN UJUNG TIANG

FUGRO :

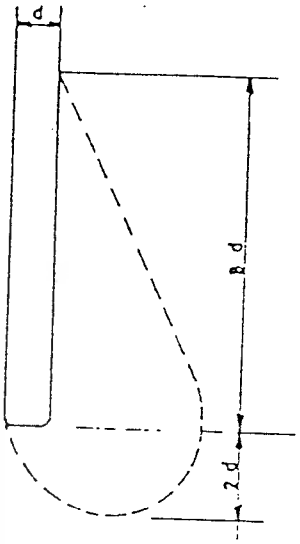
$$q_c = \frac{q_o + q_1 + 2\,q_2}{4}$$

q_c = tahanan ultimate ujung tiang.

q_o = harga rata-rata tahanan ujung konus dalam daerah 2 D di bawah ujung tiang.

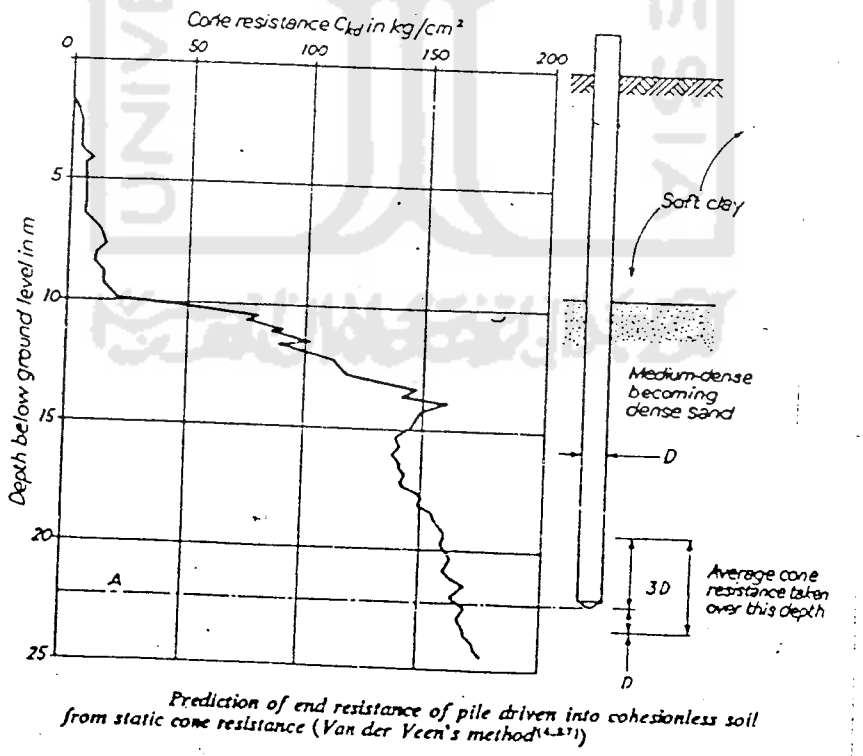
q_1 = harga minimum tahanan ujung konus dalam daerah 2 D dibawah ujung tiang.

q_2 = harga rata-rata minimum tahanan ujung konus dalam daerah 8 D di atas elevasi ujung tiang.



VAN DER VEEN :

Tahanan ujung tiang q_c ultimate adalah harga rata-rata tahanan konus dalam daerah 1 D dibawah ujung tiang sampai 3 D di atas ujung tiang.



Prediction of end resistance of pile driven into cohesionless soil from static cone resistance (Van der Veen's method[4.2.7])

Gambar : 4.2 Hubungan antara kedalaman tanah dengan q_c tahanan ujung tiang

Sumber dari Franki

Tabel : 4.2.a

EMPIRICAL VALUES OF Ø AND D_R OF SANDS AND COARSE SILTS BASED ON CONE RESISTANCE OF STATIC CONE PENETRATION TEST q_c

Cone Resistance q_c, kg/cm^2	Relative Density D_r, %	Angle of Internal Friction Ø, Degrees
< 20	< 20	25 - 30
20 - 40	20 - 40	30 - 35
40 - 120	40 - 60	35 - 40
120 - 200	60 - 80	40 - 45
> 200	> 80	> 45

Tahanan ujung konus q_c juga dapat dikonversikan menjadi N dari SPT melalui :

$$N = \frac{q_c}{C}$$

Dimana N = jumlah puluhan SPT
q_c = tahanan ujung konus (kg/cm^2)
C = konstanta dari Schmertmann seperti dalam tabel berikut

Tabel : 4.2.b

RELATIONSHIP BETWEEN N OF SPT AND q_c OF STATIC CONE PENETRATION TEST (From Schmertmann, 1970)

Soil Type	q_c/N
Silts, sandy silts, slightly cohesive silt-sand mixture	2.0
Clean, fine to medium sands and slightly silty sands	3.5
Coarse sands and sands with little gravel	5
Sandy gravel and gravel	6

Hasil konversi dari q_c menjadi N kemudian dapat digunakan untuk memperkirakan D_R, Ø C_u dan korelasi-korelasi lainnya.

Sumber dari Franki

4.1.1.c. Menggunakan N - SPT

Seringkali dijumpai dalam praktek, bahwa lapisan tanah yang dihadapi sangat keras sehingga penyelidikan menggunakan CPT terhenti, atau bila tanah yang dijumpai terdiri dari bermacam-macam jenis tanah dalam keadaan-keadaan seperti itu maka perhitungan estimasi dapat dilakukan dengan menggunakan N - SPT melalui korelasi-korelasi dengan C_u , Ø dan Nq.

Persamaan umum (4-1) untuk memenuhi keadaan-keadaan tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Pu = (Cu\ Nc + \sigma'_v\ N_q)\ Ab + \Sigma(\alpha\ \overline{Cu} + \sigma'_v\ k_s\ \tan \emptyset')\ As \quad .(4\text{-}4)$$

4.1.1.c.1. Jenis tanah berbutir halus (*Clay*)

Bila jenis tanah pendukung sekitar tiang di dominasi jenis tanah berbutir halus maka persamaan (4-4) secara praktis dapat dinyatakan.

$$Pbu = Cu\ Nc\ Ab$$

$$Psu = \Sigma\ \alpha\ \overline{Cu}\ As$$

disubstitusikan ke persamaan (4-1)

$$Pu = Cu\ Nc\ Ab + \Sigma\ \alpha\ \overline{Cu}\ As \longrightarrow \quad (4\text{-}5)$$

dimana :

Nc = bearing capacity faktor

Nc = 9-11 untuk tiang displacement biasa

Nc = 20 untuk tiang "*extra displacement*"

Cu = undisturbed undrained cohesion dari tanah di-bawah ujung tiang (lihat tabel 4.3)

$\overline{Cu}$ = average undisturbed undrained cohesion dari tanah sepanjang tiang.

α = adhesion faktor (lihat gambar 4.3)

4.1.1.c.2. Jenis tanah berbutir kasar (pasir)

Bila jenis tanah pendukung tiang di dominasi jenis tanah berbutir kasar maka pers (4-4) secara praktis menjadi:

$$Pu = \sigma'_v \, Nq \, Ab + \Sigma \, \overline{\sigma'_v} \, k \tan \delta \, As \qquad \longrightarrow \qquad (4\text{-}6)$$

dimana :

δ = sudut gesek antara tanah dan tiang dan besarnya dapat diambil sebagai berikut :

$\delta = 3/4 \, \phi$ ⟶ Non displacement piles

$\delta = \phi$ ⟶ Displacement piles

ϕ = sudut geser dari tanah (*soil internal friction angle*) dan dapat diambil melalui korelasi dengan N - SPT (tabel 4.4.a)

σ'_v = effective vertikal stress pada elevasi dasar tiang.

$\overline{\sigma'}$ = effective vertikal stress rata-rata sepanjang dinding.

Nq = bearing capacity faktor yang dapat diperoleh melalui korelasi dari q_c- CPT atau N - SPT melalui sudut geser tanah (ϕ) (lihat tabel 4.5)

k = suatu koefisien tanah lateral yang dapat diambil sebagai berikut

k = 0,5 Non displ piles, loose soils Dr < 50%

Tabel : 4.3 RELATIONSHIP BETWEEN N_{30} AND C_u FOR CLAYS (AFTER TERZAGHI AND PECK, 1976)

Consistency	Penetration Resistance, N_{30} blows/0.3 m	Shear Strength, C_u, kP_a
Very soft	< 2	< 12
Soft	2 - 4	12 - 25
Medium	4 - 8	25 - 50
Stiff	8 - 15	50 - 100
Very stiff	15 - 30	100 - 200
Hard	> 30	> 200

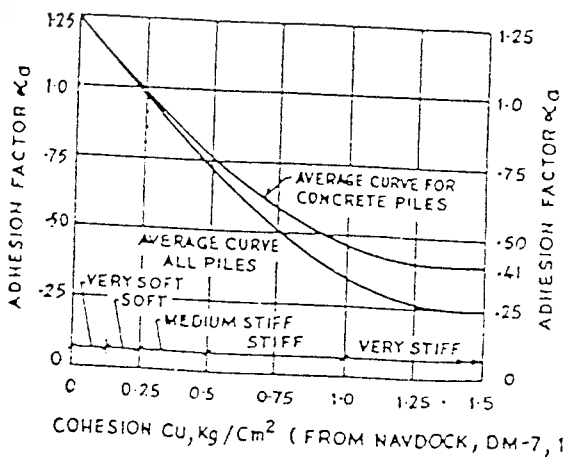
According to STROUD (1974) the shear strength in kP_a for clay soils varies between $4N_{30}$ and $6N_{30}$

$$C_u = (4N_{30} \text{ s/d } 6N_{30}) \; kP_a$$

This relationship corresponds closely to that proposed by Terzaghi and Peck (1967) as shown in table above.

ADHESION FACTOR α :

$$\alpha = \frac{Ca}{Cu}$$



Gambar : 4.3 Hubungan antara adhesion factor dan cohesion kg/cm^2

Sumber dari Franki

PERPUSTAKAAN

Tabel : 4.4.a

EMPIRICAL VALUES OF ϕ, D_r, AND UNIT WEIGHT OF GRANULAR SOILS BASED ON THE STANDARD PENETRATION BLOW COUNT N_{30}

Description	Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
Relatively density, D_r, %	0 15	35	65	85	100
Standard penetration blow count, N	4	10	30	50	
Approximate angle of internal friction, ϕ	25^o	27^o-32^o	30^o-35^o	35^o-38^o	38^o-43^o
Approximate range of moist unit weight, t/m^3	1.1-1.60	1.45-1.85	1.75-2.10	1.75-2.25	2.10-2.40

* After Meyerhof, $\phi^o = 25+0.15\ D_r$ with more than 5 per cent fines.

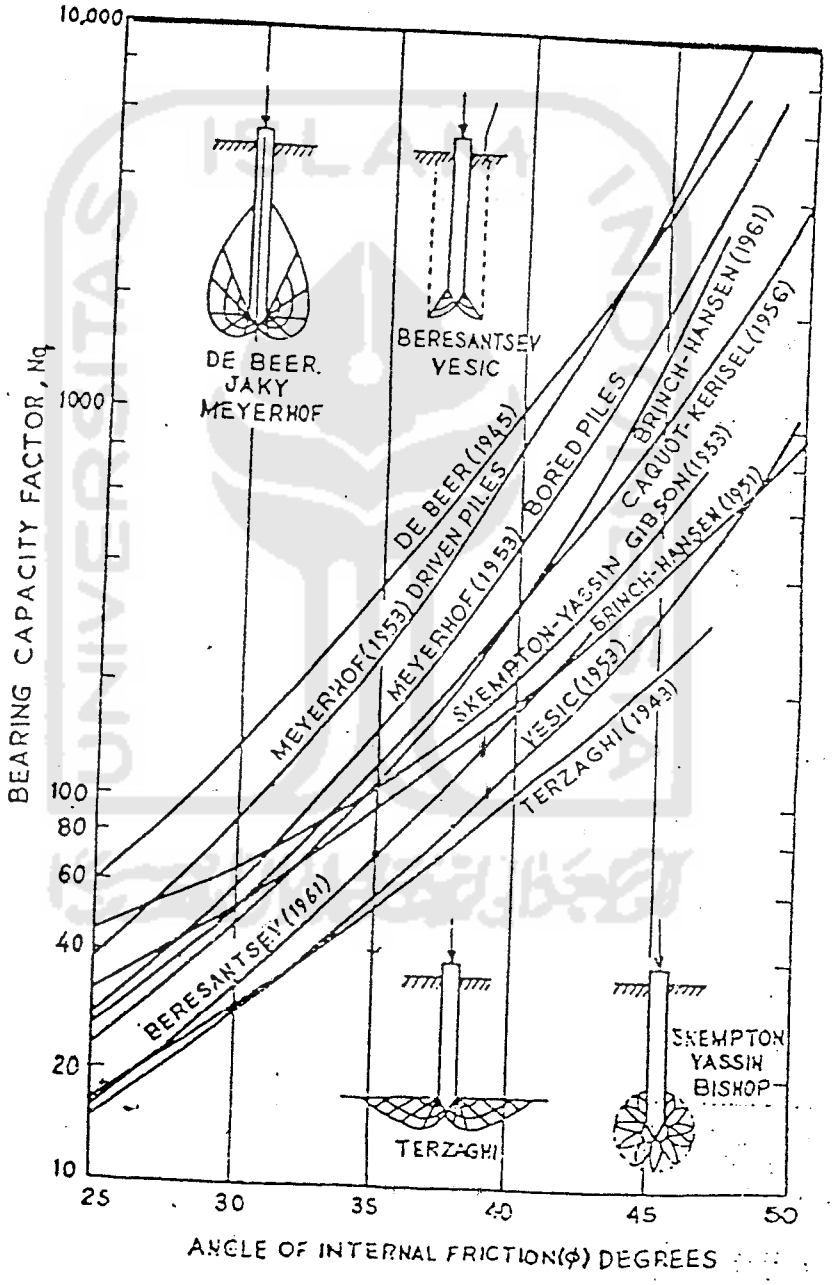
Tabel : 4.4.b COMPARISON OF PENETRASION TESTING METHODS (after Bergdahl, 1983)

Relative Density	CPT q_c MP_a	SPT N_{30} Blows/ 0.3 m
Very loose	< 2.5	< 4
Loose	2.5 - 5.0	4 - 10
Medium dense	5.0 - 10.0	10 - 30
Dense	10 - 20	30 - 50
Very dense	> 20	> 50

Sumber dari Franki

Tabel : 4.5 N_q VALUES AS RECOMMENDED IN THE DRAFT CANADIAN MANUAL ON FOUNDATION ENGINEERING.

ϕ	25°	30°	35°	40°
N_q	15	30	75	150
Soil Density	Loose		Compact	Dense



Bearing capacity factors vs. angle of internal friction, according to various authors.

Gambar : 4.4 hubungan antara bearing capacity factor, Nq dengan angle of internal frition (Ø) degrees

Sumber dari Franki

k = 0,6 - 0,7 Non displ piles, dense soils Dr > 50%

k = 0,5 - 1,5 Displ piles, loose soils Dr < 50%

k = 1,5 - 3,0 Displ piles, dense soils Dr > 50%

4.1.2. Analisis Dinamis

Analisis dinamis dapat dicari dengan rumus, ENR dan Norland :

a. ENR, untuk fondasi tiang secara umum.

b. Nordland, untuk fondasi tiang Franki.

a. Rumus ENR (*Engineering News Record*)

$$Pu = \frac{eh\ Wr\ h}{S + 0,1} \cdot \frac{Wr + n^2\ Wp}{Wr + Wp} \quad ;SF = 6 \longrightarrow (4\text{-}7)$$

dimana :

Pu = kapasitas tiang pancang ultimit (akhir)

eh = efisiensi palu

S = banyaknya penetrasi titik perpukulan

Wr = berat balok besi panjang

Wp = berat tiang pancang termasuk berat sungkup tiang pancang, sepatu pemancang dan blok sungkup

n = Koefisien restitusi (tabel 17-3 Bawles)

h = Tinggi jatuhnya balok besi panjang

b. Rumus Nordlund

Karena pada tiang Franki menggunakan energi untuk menghitung daya dukungnya adalah dengan cara menentukan jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk

menumbuk beton dalam pembentukan "*Base*".

Dalam hal ini Nordlund menggunakan rumus :

$$Pall = \frac{W\ H\ B\ V^{2/3}}{K} \longrightarrow \quad (4\text{-}8)$$

dimana : W = berat drop hammer/penumbuk

H = tinggi jatuh drop hammer

B = jumlah pukulan per unit volume skip

V = volume bulk

K = konstanta

4.1.3. Loading Test (Tes Pembebanan)

Metode yang paling dapat dipercaya untuk menentukan beban maksimum sebuah tiang adalah dengan cara pengujian beban pada tiang yang akan diuji, biasanya terdiri dari beberapa kali pengujian pada beberapa tiang yang telah ditentukan sebelumnya, agar diperoleh kenyataan dilapangan bahwa hasil Estimasi daya dukung tiang cocok dengan hasil yang diperoleh dari uji pembebanan yang dilakukan.

Dengan mengadakan test pembebanan pada beberapa tiang hasil yang diperoleh akan lebih teliti.

Pada perinsipnya uji pembebanan pada beberapa tiang ini dilakukan dengan cara memberikan beban yang di letak-kan di atas kepala tiang, kemudian besarnya deformasi vertikal yang terjadi diukur dengan menggunakan arloji ukur yang dipasang pada tiang. deformasi yang terjadi terdiri dari deformasi elastis dan deformasi plastis. Deformasi elastis adalah deformasi yang di akibatkan oleh pemendekan elastis dari tiang dan tanah, sedangkan

deformasi plastis adalah deformasi yang di akibatkan runtuhnya tanah pendukung pada ujung atau sekitar tiang.

Hasil percobaan tiang tidak dapat untuk menentukan besarnya penurunan akibat konsolidasi pada kelompok tiang. Pada uji pembebanan tiang kita hanya dapat menentukan besarnya beban maksimum dan bukan settlement maksimum.

Dalam Tugas Akhir ini diambil uji beban (*loading test*) untuk menentukan daya dukung tiang "aksial" yang merupakan sampling dilapangan.

Tes beban tiang biasanya dilaksanakan terutama untuk alasan-alasan :

- menunjukkan kekuatan structur tiang,
- menyediakan suatu test pembuktian untuk menjamin bahwa keruntuhan tidak terjadi sebelum beban pembuktian dipilih tercapai. Beban pembuktian ini adalah suatu faktor yang umumnya 200% sampai 250% dikalikan beban kerja yang direncanakan,
- Mengecek kapasitas bearing ultimite pada nilai yang dihitung dari pendekatan-pendekatan statik atau dinamik. Dalam pengetesan ini dapat juga digunakan untuk memberikan data tanah pada tiang-tiang lain-nya yang akan di rancang.

4.1.4. Pile Driving Analyzer (PDA)

Cara lain untuk menentukan daya dukung fondasi tiang dapat juga dilakukan dengan cara pengujian dinamis, meng-gunakan alat "Pile Driving Analyzer" (PDA).

PDA mengukur regangan dan percepatan yang terjadi selama fondasi tiang dipasang/ditumbuk. Hasil pengukuran tersebut diperlukan untuk memperkirakan daya dukung tiang.

Pile Driving Analyzer (PDA) mengukur regangan dan percepatan dengan "Strain transducer" dan "accelerometer" yang dipasang (dibaut) dibagian atas tiang, minimum 2D dari ujung atas tiang. Untuk setiap tumbukan ("blow") kurva hasil pengukuran ditampilkan di layar komputer.

Berdasarkan kurva hasil pengukuran tersebut, PDA menghitung daya dukung aksial fondasi. Tiang yang diuji dengan menggunakan Cose method.

4.2. Kelompok Tiang (*Pile Group*)

Sebuah fondasi tiang biasanya terdiri dari sekelompok tiang pancang yang dipasang cukup berdekatan satu sama lain (secara tipikal berjarak 2D - 3,5D dimana D adalah lebar atau diameter masing-masing tiang pancang) dan disatukan oleh sebuah pelat (*Slab*), yang dikenal sebagai kepala tiang (*pile cap*), dan dicor pada puncak tiang-tiang tersebut. Kepala tiang tersebut biasanya berhubungan langsung dengan tanah pada kasus-kasus dimana sebagian beban structural dipikul langsung oleh tanah tepat dibawah permukaan. Bila kepala tiang tidak berhubungan dengan permukaan tanah, maka kelompok tiang pancang tersebut disebut berdiri bebas (*Free standing*).

Secara umum beban ultimit yang dapat didukung oleh sebuah kelompok yang terdiri dari n tiang pancang tidak

sama dengan n kali beban ultimit sebuah tiang pancang terpisah dengan dimensi yang sama pada tanah yang sama pula. Rasio beban rata-rata tiap tiang dalam sebuah kelompok pada saat runtuh terhadap beban ultimit untuk sebuah tiang didefinisikan sebagai efesiensi kelompok tersebut. Umumnya diasumsikan bahwa distribusi beban antara tiang-tiang dalam sebuah kelompok yang dibebani secara aksial adalah merata. Tetapi bukti-bukti dari eksperimen menunjukkan bahwa untuk sebuah kelompok yang berada pada pasir, tiang yang berada di pusat kelompok akan memikul beban yang lebih besar dari pada tiang-tiang di sekelilingnya. Pada tanah lempung, tiang-tiang di sekeliling pusat akan memikul beban yang lebih besar dari tiang di pusat kelompok.

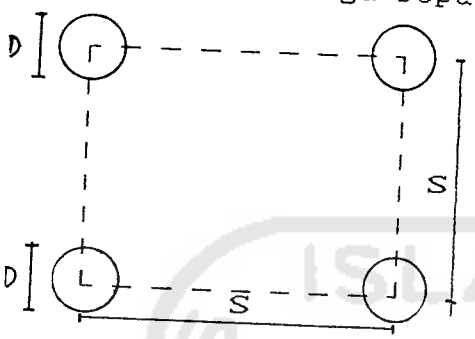
Anggapan bahwa setiap tiang pancang didalam sebuah kelompok, menyangkut beban yang sama bila hal-hal berikut dapat dipenuhi :

1. Topi tiang pancang bersentuhan dengan tanah.
2. Tiang pancang semuanya tegak lurus.
3. Beban dipakaikan pada pusat kelompok tiang pancang.
4. Kelompok tiang pancang adalah simetris

Pada fondasi tiang type franki memenuhi hal-hal seperti diatas maka dianggap setiap tiang pada sebuah kelompok akan mengangkut beban yang sama. Sedangkan daya dukung untuk satu tiang pada fondasi tiang type franki sudah disyaratkan harus mampu memikul beban minimum, dapat di lihat pada tabel 6.1.

- Jarak antara tiang dalam kelompok tiang.

Berdasarkan pada perhitungan. Daya dukung tanah oleh Dirjen Bina Marga Departemen P.U.T.L. disyaratkan :



$S \geq 2{,}5D$

$S \geq 3D$

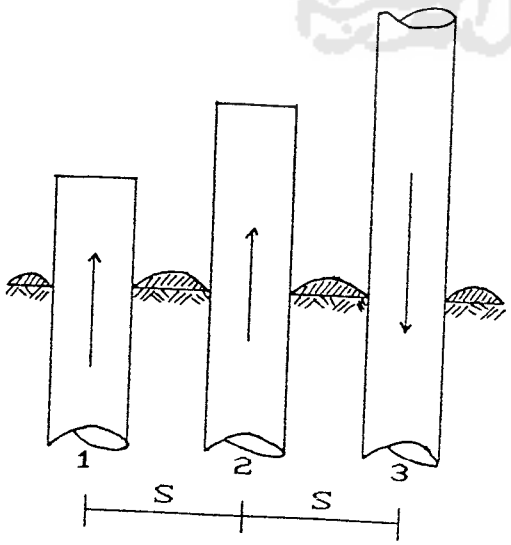
dimana : S : jarak masing-masing tiang dalam kelompok tiang

D : Diameter tiang

Biasanya disini disyaratkan pula jarak antara dua tiang dalam kelompok tiang minimum 0,60 m max 2,0 m.

- Ketentuan tersebut diatas berdasarkan :

Bila S < 2,5 D



Pada pemasangan tiang no 3 akan menyebabkan :

- Kemungkinan tanah disekitar kelompok tiang akan naik terlalu berlebihan karena terdesak oleh tiang-tiang (dalam franki oleh casing)
- Terangkatnya tiang-tiang disekitarnya, yang jadi lebih dahulu.

Bila S > 3D

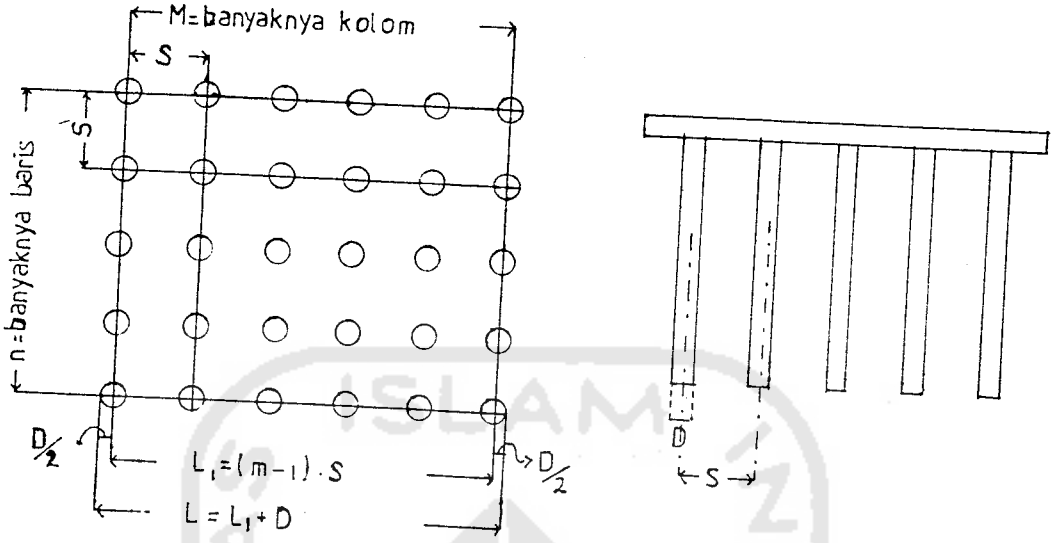
Disini tidak ekonomis sebab akan memperbesar ukuran/ dimensi dari poer (*footing*), jadi memperbesar biaya. Pada perencanaan tiang biasanya setelah jumlah tiang dan jarak antara tiang-tiang yang diperlukan kita tentukan, maka kita dapat menentukan luas poer (*footing*) yang diperlukan untuk tiap-tiap kolom portal.

Bila : 1. Ternyata luas poer total yang diperlukan lebih kecil dari pada 1/2 luas bangunan, maka kita pergunakan fondasi setempat dengan poer diatas kelompok tiang.

2. Ternyata luas poer total yang diperlukan lebih besar dari pada 1/2 luas bangunan, maka kita pilih fondasi penuh (*raft foundation*) diatas tiang-tiang.

4.3 Efisiensi Kelompok Pondasi Tiang

Efisiensi sebuah tiang fondasi pada kelompok tiang adalah perbandingan kapasitas kelompok terhadap jumlah kapasitas masing-masing tiang. lihat gambar 4.8.



Gambar 4.5. efisiensi tiang pancang kelompok

Menurut "*Labarre*", efisiensi pada kelompok tiang dapat dicari dengan persamaan

$$Eg = 1 - \frac{\theta(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \longrightarrow \quad (4\text{-}9)$$

dimana :

m = jumlah tiang dalam kolom

n = jumlah tiang dalam baris

θ = acr tan $\frac{d}{s}$ (derajat)

d = diameter tiang

s = jarak antara tiang (as ke as)

banyaknya tiang pancang (k) = m.n

Daya dukung tiang pada kelompok tiang

Eg.Qsp

dimana : Qsp = daya dukung tiang individu (single pile)