# BAB II

# TINJAUAN PUSTAKA

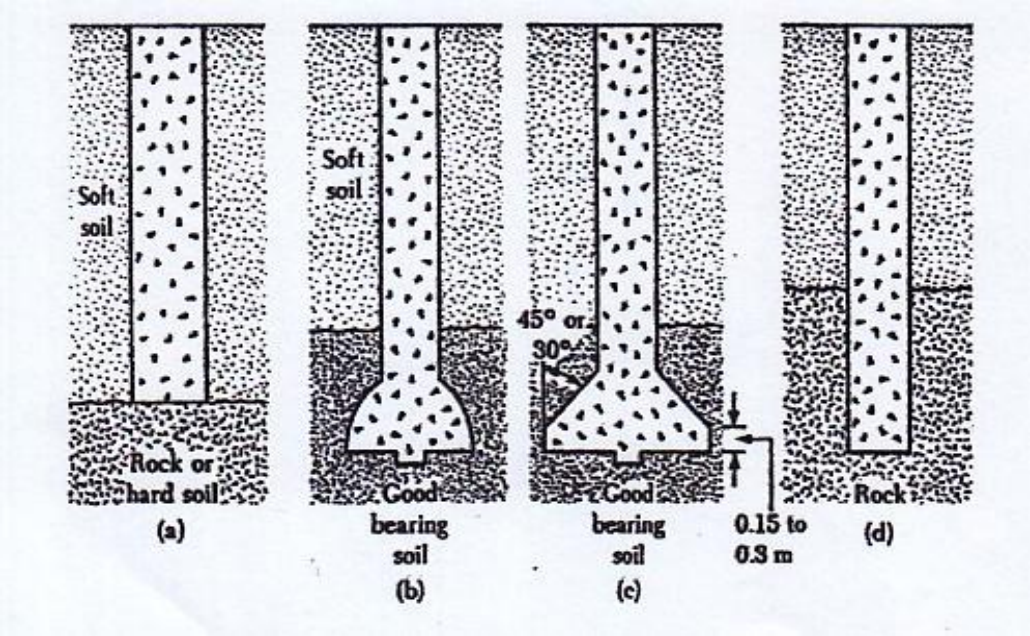
## 2.1. Pondasi Bore Pile

Bore pile dipasang ke dalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi tulangan dan dicor beton. Tiang ini biasanya, dipakai pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan untuk membentuk lubang yang stabil dengan alat bor. Jika tanah mengandung air, pipa besi dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan pipa ini ditarik ke atas pada waktu pengecoran beton. Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat

dibesarkan untuk menambah tahanan dukung ujung tiang (Gambar 1).

Ada berbagai jenis pondasi bore pile yaitu:

1. Bore pile lurus untuk tanah keras;
2. Bore pile yang ujungnya diperbesar berbentuk bel;
3. Bore pile yang ujungnya diperbesar berbentuk trapesium;
4. Bore pile lurus untuk tanah berbatu-batuan.




Gambar 1. Jenis-jenis Bore pile

Ada beberapa alasan digunakannya pondasi bore pile dalam konstruksi :

1. Bore pile tunggal dapat digunakan pada tiang kelompok atau pile cap.
2. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
3. Bore pile dapat didirikan sebelum penyelesaian tahapan selanjutnya.
4. Ketika proses pemancangan dilakukan, getaran tanah akan mengakibatkan kerusakan pada bangunan yang ada di dekatnya, tetapi dengan penggunaan pondasi bore pile hal ini dapat dicegah.
5. Pada pondasi tiang pancang, proses pemancangan pada tanah lempung akan membuat tanah bergelombang dan menyebabkan tiang pancang sebelumnya bergerak ke samping. Hal ini tidak terjadi pada konstruksi pondasi bore pile.
6. Selama pelaksanaan pondasi bore pile tidak ada suara yang ditimbulkan oleh alat pancang seperti yang terjadi pada pelaksanaan pondasi tiang pancang.

7. Karena dasar dari pondasi bore pile dapat diperbesar, hal ini memberikan ketahanan yang besar untuk gaya keatas.
8. Permukaan diatas dimana dasar bore pile didirikan dapat diperiksa secara langsung.
9. Pondasi bore pile mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap beban lateral.

Beberapa kelemahan dari pondasi bore pile :

1. Keadaan cuaca yang buruk dapat mempersulit pengeboran dan pembetonan.
2. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah berkerikil.
3. Pengecoran beton sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
4. Pembesaran ujung bawah tiang tidak dapat dilakukan bila tanah berupa pasir.
5. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tanah terhadap tiang.
6. Akan terjadi tanah runtuh (ground loss) jika tindakan pencegahan tidak dilakukan.
7. Karena diameter tiang cukup besar dan memerlukan banyak beton, untuk pekerjaan kecil mengakibatkan biayanya sangat melonjak.
8. Walaupun peneterasi sampai ke tanah pendukung pondasi dianggap telah terpenuhi, kadang-kadang terjadi bahwa tiang pendukung kurang sempurna karena adanya lumpur yang tertimbun di dasar.

Ditinjau dari segi pelaksanaannya pondasi bore pile dapat dibedakan menjadi 3 macam type:

1. Sistem Augering

   Pada sistem ini selain augernya sendiri, untuk kondisi lapangan pada tanah yang mudah longsor diperlukan casing atau bentonite slurry sebagai panahan longsor. Penggunaan bentonite slurry untuk kondisi lapisan tanah yang permeabilitynya besar tidak disarankan, karena akan membuat bentonite slurry yang banyak dengan terjadinya perembesan melalui lapangan permeable tersebut.

2. Sistem Grabbing

   Pada penggunaan sistem ini diperlukan casing (continuous semirotary motion casing) sebagai penahan kelongsoran. Casing tersebut dimasukkan ke dalam tanah dengan cara ditekan sambil diputar. Sistem ini sebenarnya cocok untuk semua kondisi tanah, tetapi yang paling sesuai adalah kondisi tanah yang sulit ditembus.

3. Sistem Wash Boring

   Pada sistem ini diperlukan casing sebagai penahan kelongsoran dan juga pompa air untuk sirkulasi airnya yang dipakai untuk pengeboran.Sistem ini cocok untuk kondisi tanah pasir lepas. Untuk jenis bore pile ini perlu diberikan tambahan tulangan praktis untuk penahan gaya lateral yang terjadi. Penulangan minimum 2% dari luas penampang tiang.

## 2.2. Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral – mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan – bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang – ruang kosong diantara partikel – partikel padat tersebut (Das, 1995). Adapun menurut R.F.Craig (dalam buku Mekanika Tanah Edisi ke- 4), tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan.

## 2.3. Penelitian Tanah

Data penelitian tanah merupakan data sekunder dimana peneliti tidak langsung terjun ke lapangan sehingga data tersebut merupakan data yang diperoleh dari instansi yang terkait. Penelitian tanah dimaksudkan untuk mendapatkan data keadaan pada titik yang telah ditentukan sebagai gambaran dasar keadaan tanah pada Pekerjaan Perencanaan Hotel Jalan Morotai Bandar Lampung.

## 2.4. Pembebanan

Besar dan macam beban yang bekerja pada struktur sangat tergantung dari jenisstruktur. Berikut ini akan disajikan jenis-jenis beban, data beban serta faktor-faktor dankombinasi pembebanan sebagai dasar acuan bagi perhitungan struktur.

### A. Beban mati (*Dead Load*)

Beban mati merupakan beban yang bekerja akibat gravitasi yang bekerja tetap pada posisinya secara terus menerus dengan arah ke bumi tempat struktur didirikan.

Yang termasuk beban mati adalah berat struktur sendiri dan juga semua benda yang tetap posisinya selama struktur berdiri.

**B. Beban hidup (*Live Load*)**

Beban hidup merupakan beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu konstruksi dan barang-barang yang dapat berpindah, mesin dan peralatan lain yang dapat digantikan selama masa pakai.

**C. Beban angin (*Wind Load*)**

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Beban angin ditunjukan dengan menganggap adanya tekanan pofitip dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang – bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan tekanan negatif ini dinyatakan dalam kg/m$^2$, ditentukan dengan mengalikan tekanan tiup yang telah ditentukan dengan koefisien – koefisien angin yang telah ditentukan dalam peraturan ini.

Tabel 1. *Combined Height, Exposure and Gust Factor Coefficient* (Ce)[a]

| Height above average level of adjoining ground (feet) × 304.8 for mm | Exposure D | Exposure C | Exposure B |
|---|---|---|---|
| 0–15 | 1.39 | 1.06 | 0.62 |
| 20 | 1.45 | 1.13 | 0.67 |
| 25 | 1.50 | 1.19 | 0.72 |
| 30 | 1.54 | 1.23 | 0.76 |
| 40 | 1.62 | 1.31 | 0.84 |
| 60 | 1.73 | 1.43 | 0.95 |
| 80 | 1.81 | 1.53 | 1.04 |
| 100 | 1.88 | 1.61 | 1.13 |
| 120 | 1.93 | 1.67 | 1.20 |
| 160 | 2.02 | 1.79 | 1.31 |
| 200 | 2.10 | 1.87 | 1.42 |
| 300 | 2.23 | 2.05 | 1.63 |
| 400 | 2.34 | 2.19 | 1.80 |

[a] Values for intermediate heights above 15 feet (4572 mm) may be interpolated.
(From UBC 1997, Table 16-G.)

Tabel 2. Koefisien Tekanan Cg

| Description | $C_g$ |
|---|---|
| **Method 1 (Normal force method) Maximum height 400 ft** | |
| Walls | |
| Windward wall | 0.8 inward |
| Leeward wall | 0.5 outward |
| Roof | |
| Wind perpendicular to ridge | |
| Leeward roof or flat roof | 0.7 outward |
| Windward roof | |
| Slope less than 2:12 (16.7%) | 0.7 outward |
| Slope 2:12 (16.7%) to less than 9:12 (75%) | 0.9 outward or 0.3 inward |
| Slope 9:12 (75%) to 12:12 (100%) | 0.4 inward |
| Slope > 12:12 (100%) | 0.7 inward |
| Wind parallel to ridge and flat roofs | 0.7 outward |
| **Method 2 (Projected area method) Maximum height 200 ft** | |
| On vertical projected area | |
| Structures 40 feet (12.19 m) or less in height | 1.3 horizontal any direction |
| Structures over 40 feet (12.19 m) in height | 1.4 horizontal any direction |
| On horizontal projected area | 0.7 upward |

(From UBC 1997.)

## D. Beban Gempa ( *Earthquake Load* )

Besarnya beban gempa dasar nominal horizontalakibat gempa menurut Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI – 03 – 1726 – 2002),dinyatakan sebagai berikut :

$$V = \frac{CxI}{R} xWi \text{.....} (1)$$

Dimana :

V = beban gempa dasar nominal ( beban gempa rencana )

Wi = kombinasi dari beban mati dan beban hidup vertikal yang direduksi

C = faktor respons gempa

I = faktor keutamaan struktur

R = faktor reduksi gempa

Tabel 3. Faktor Keutamaan Struktur (I)

| Kategori gedung | Faktor Keutamaan | | |
|---|---|---|---|
| | $I_1$ | $I_2$ | I |
| Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Monumen dan bangunan monumental | 1,0 | 1,6 | 1,6 |
| Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi. | 1,4 | 1,0 | 1,4 |
| Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun. | 1,6 | 1,0 | 1,6 |
| Cerobong, tangki di atas menara | 1,5 | 1,0 | 1,5 |

Tabel 4. Parameter daktilitas struktur gedung

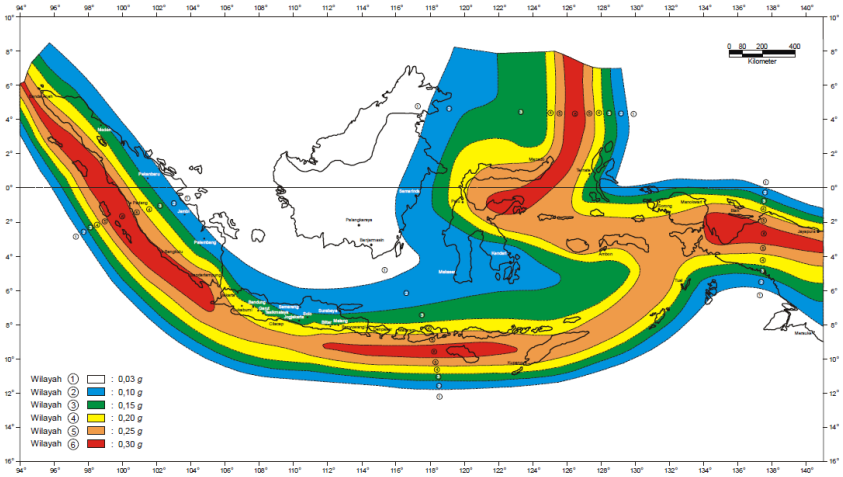
| Taraf kinerja struktur gedung | μ | R pers.( 6) |
|---|---|---|
| Elastik penuh | 1,0 | 1,6 |
| Daktail parsial | 1,5<br>2,0<br>2,5<br>3,0<br>3,5<br>4,0<br>4,5<br>5,0 | 2,4<br>3,2<br>4,0<br>4,8<br>5,6<br>6,4<br>7,2<br>8,0 |
| Daktail penuh | 5,3 | 8,5 |

Besarnya beban gempa sangat dipengaruhi oleh berat dari struktur bangunan, untuk itu diperlukan menghitung berat dari masing-masing lantai bangunan.Berat dari bangunan berupa beban mati yang terdiri dari berat sendiri material-material konstruksi, elemen-elemen struktur, dan beban hidup dari penggunaan bangunan.Kemungkinan terjadinya gempa bersamaan dengan bekerjanya beban hidup pada konstruksi gedung sangat kecil, karena itu beban hidup yang bekerja dapat direduksi. Sesuai standar pembebanan yang

berlaku di Indonesia, untung menghitung pengaruh beban gempa pada konstruksi gedung yaitu mengalikan beban hidup yang bekerja dengan faktor reduksi sebesar 0,3.

## 2.5. Faktor Respons Gempa (C)

Setelah menghitung waktu getar dari struktur bangunan pada arah X (Tx) dan arah Y (Ty), maka besar dari Faktor Respons Gempa (C) dapat ditentukan dari diagram spektrum gempa rencana sesuai dengan wilayah gempa dan kondisi tanah untuk waktu getar alami fundamental, dengan terlebih dahulu menentukan zona gempa (lihat Gambar 2).




Gambar 2. Wilayah Gempa Indonesia

Faktor respon gempa C ditentukan dengan persamaan-persamaan berikut:

Untuk T ≤ Tc:

C = Am .....(2)

Untuk T∃Tc:

$C = \frac{Ar}{T}$.....(3)

Dengan:

Am = 2,5 Ao .....(4)

Ar = Am . Tc .....(5)

Nilai Ao, Am, dan Ar tercantum dalam Tabel 5 dan Tabel 6 untuk masing-masing wilayah gempa dan jenis tanah.

Tabel 5. Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan muka tanah

| Wilayah Gempa | Percepatan puncak batuan dasar ('g') | Percepatan puncak muka tanah $A_o$ ('g') | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Tanah Keras | Tanah Sedang | Tanah Lunak | Tanah Khusus |
| 3 | 0,15 | 0,18 | 0,23 | 0,30 | setiap lokasi |
| 4 | 0,20 | 0,24 | 0,28 | 0,34 | |
| 5 | 0,25 | 0,28 | 0,32 | 0,36 | |
| 6 | 0,30 | 0,33 | 0,36 | 0,38 | |

Tabel 6. Spektrum respon gempa rencana

| **Wilayah Gempa** | **Tanah Keras $T_c$ = 0,5 det.** | | **Tanah Sedang $T_c$ = 0,6 det.** | | **Tanah Lunak $T_c$ = 1,0 det.** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **$A_m$** | **$A_r$** | **$A_m$** | **$A_r$** | **$A_m$** | **$A_r$** |
| 1 | 0,10 | 0,05 | 0,13 | 0,08 | 0,20 | 0,20 |
| 2 | 0,30 | 0,15 | 0,38 | 0,23 | 0,50 | 0,50 |
| 3 | 0,45 | 0,23 | 0,55 | 0,33 | 0,75 | 0,75 |
| 4 | 0,60 | 0,30 | 0,70 | 0,42 | 0,85 | 0,85 |
| 5 | 0,70 | 0,35 | 0,83 | 0,50 | 0,90 | 0,90 |
| 6 | 0,83 | 0,42 | 0,90 | 0,54 | 0,95 | 0,95 |

## 2.6. Kapasitas Daya Dukung Bore Pile Dari Data Sondir

Diantara perbedaaan tes dilapangan, CPT(*cone penetration test*) atau sondir ini tes yang sangat cepat, sederhana, ekonomis dan tes tersebut dapat dipercaya dilapangan dengan pengukuran terus-menerus dari permukaan tanah-tanah dasar. CPT atau sondir ini dapat mengklasifikasi lapisan tanah dan dapat memperkirakan kekuatan dan karakteristik dari tanah. Didalam perencanaan pondasi tiang, data tanah sangat diperlukan dalam merencanakan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) dari bore pile sebelum pembangunan dimulai, guna menentukan kapasitas daya dukung ultimit dari pondasi tiang. Untuk menghitung daya dukung tiang pancang berdasarkan data hasil pengujian sondir dapat dilakukan dengan menggunakan metode Meyerhoff.

Daya dukung ultimate pondasi tiang dinyatakan dengan rumus :

Qult = ( qc x Ap ) + (JHL x $K_{11}$ )…….....(6)

Dimana :

Qult = Kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal.

qc = Tahanan ujung sondir.

Ap = Luas penampang tiang.

JHL = Jumlah hambatan lekat.

$K_{11}$ = Keliling tiang.

Daya dukung ijin pondasi dinyatakan dengan rumus :

$$\text{Qijin} = \frac{qcxAc}{3} + \frac{JHLxK11}{5} \quad \text{…….(7)}$$

Dimana :

Qijin = Kapasitas daya dukung ijin pondasi.

qc = Tahanan ujung sondir.

Ap = Luas penampang tiang.

JHL = Jumlah hambatan lekat.

$K_{11}$ =Keliling tiang.

Untuk menghitung daya dukung bore pile berdasarkan data hasil pengujian sondir dapat dilakukan dengan menggunakan metode Aoki dan De Alencar.

Daya dukung ultimate pondasi bore pile dinyatakan dengan rumus :

Qult = ( qb x Ap )…….....(8)

Dimana :

Qult = Kapasitas daya dukung bore pile

qb = Tahanan ujung sondir

Ap = Luas penampang tiang

Aoki dan Alencar mengusulkan untuk memperkirakan kapasitas dukung ultimit dari data sondir. Kapasitas dukung ujung persatuan luas (qb) diperoleh sebagai berikut :

Qb = $\frac{qca\ (\ base)}{Fb}$…….....…..(9)

Dimana :

qca ( base ) = perlawanan konus rata-rata 1,5D diatas ujung tiang, 1,5D dibawah ujung tiang.

Fb = Faktor empiric tergantung pada tipe tanah.

Table 7 Faktor empiric Fb

| **Tipe Tiang Pancang** | **Fb** |
|---|---|
| Bore pile | 3.5 |
| Baja | 1.75 |
| Beton Pratekan | 1.75 |

Pada perhitungan kapasitas pondasi bore pile dengan sondir tidak diperhitungkan daya dukung selimut bore pile. Hal ini dikarenakan perlawanan geser tanah yang terjadi pada pondasi bore pile dianggap sangat kecil sehingga dianggap tidak ada.

## 2.7. Faktor Aman

A. Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka diperlukan untuk membagi kapasitas ultimit dengan faktor aman tertentu. Faktor aman ini perlu diberikan dengan maksud :

1. Untuk memberikan keamanan terhadap ketidakpastian metode hitungan yang digunakan.
2. Untuk memberikan keamanan terhadap variasi kuat geser dan kompresibilitas tanah.
3. Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.
4. Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok tiang masih dalam batas-batas toleransi.
5. Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam di anatara tiang-tiang masih dalam batas-batas toleransi (Hardiyatmo,2006).

Dari hasil banyak pengujian beban tiang yang berdiameter kecil sampai sedang (600mm), penurunan akibat beban kerja (working load) yang terjadi lebih kecil dari 10 mm untuk faktor aman yang tidak kurang dari 2,5 (Tomlinson, 1977).

Pemilihan faktor aman (F) dengan mempertimbangkan faktor berikut :

1. Tipe dan kepentingan dari struktur.
2. Variabilitas tanah (tanah tidak uniform)
3. Ketelitian penyelidikan tanah.
4. Tipe dan jumlah uji tanah yang dilakukan.
5. Ketersedian data di tempat (uji beban tiang)
6. Pengawasan/kontrol kualitas di lapangan.
7. Kemungkinan beban desain aktual yang terjadi selama beban layanan struktur.

Tabel 8. Faktor aman yang disarankan.

| **Klasifikasi struktur** | **Faktor aman (F)** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Kontrol Baik** | **Kontrol Normal** | **Kontrol Jelek** | **Kontrol sangat jelek** |
| **Monumental** | **2,3** | **3** | **3,5** | **4** |
| **Permanen** | **2** | **2,5** | **2,8** | **3,4** |
| **Sementara** | **1,4** | **2** | **2,3** | **2,8** |

Besarnya beban kerja (working load) atau bkapasitas tiang ijin (Qs) dengan memperhatikan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas ultimit (Qu) dibagi dengan faktor aman (F) yang sesuai.

Qa $= \frac{Qu}{2,5}$.....(10)

## 2.8. Kapasitas Daya Dukung Bore Pile Dari Data SPT

Standard Penetration Test (SPT) adalah sejenis percobaan dinamis dengan memasukkan suatu alat yang dinamakan *split spoon* kedalam tanah. Dengan percobaan ini akan diperoleh kepadatan relatif (*relative density*), sudut geser tanah (Φ) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N).Perkiraan kapasitas daya dukung pondasi bore pile pada tanah pasir dan silt didasarkan pada data uji lapangan SPT, ditentukan dengan perumusan sebagai berikut :

1. Daya dukung ujung pondasi bore pile (*end bearing*), (*Meyerhof*).

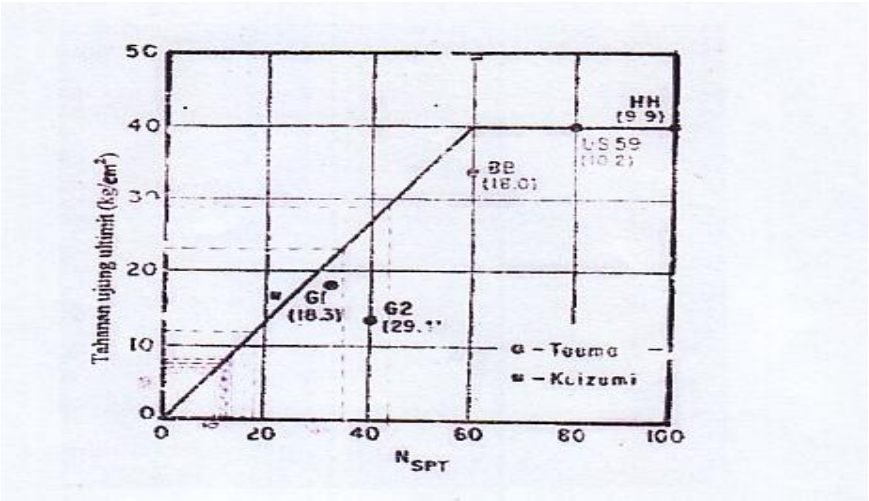
   Qp = 40 x Nb x Ap.....(11 )

   Dimana :

   Ap = Luas penampang bore pile, m².

   Nb = Nilai N – SPT pada elevasi dasar tiang.

   Qp = Daya dukung ujung tiang, ton.




Gambar 3. Daya dukung ujung batas bore pile pada tanah pasiran

Dimana :

Untuk N ≤ 60 maka qp = 7 N (t/m²)< 400 (t/m²)

Untuk N > 60 maka qp = 400 (t/m²)

Dimana :

N = nilai rata-rata SPT

2. Daya dukung selimut bore pile (skin friction).

Qs = 0,2 N x As……..( 12 )

Dimana :

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

Li = Panjang lapisan tanah, m.

p = Keliling tiang, m.

Qs = Daya dukung selimut tiang, ton.

N = Harga N – SPT rata – rata.

## 2.9. Kapasitas Daya Dukung Bore Pile Dari Data Parameter Kuat Geser Tanah

Berdasarkan hasil pemeriksaan tanah melalui beberapa percobaan akan didapatkan nilai berat isi tanah (γ), nilai kohesif tanah (c) serta nilai sudut geser tanah (f).Perkiraan kapasitas daya dukung pondasi bore pile pada tanah pasir dan silt didasarkan pada data parameter kuat geser tanah, ditentukan dengan perumusan sebagai berikut :

1. Daya dukung ujung pondasi bore pile (*end bearing*).

Untuk tanah kohesif :

$Q_p = A_p \cdot C_u \cdot N_c*$……( 13)

Dimana :

$Q_p$ = Tahanan ujung per satuan luas, ton.

$A_p$ = Luas penampang bore pile, m².

$C_u$ = Undrained cohesion, ton/m².

$N_c*$ = Faktor daya dukung tanah, untuk pondasi bore pile nilai $N_c*$ = 9

Untuk mencari nilai $C_u$ (Undrained cohesion), dapat digunakan persamaan dibawah ini :

α* = 0,21 + 0,25 $\left(\frac{Pu}{Cu}\right) \leq 1$……( 14)

dimana :

α* = Faktor adhesi = 0,4

Pu = Tekanan atmosfir = 1,058 ton/ft² = 101,3 kN/m².

Untuk tanah kohesif :

Qp = Ap .q' (Nq* - 1)…….( 15)

Dimana :

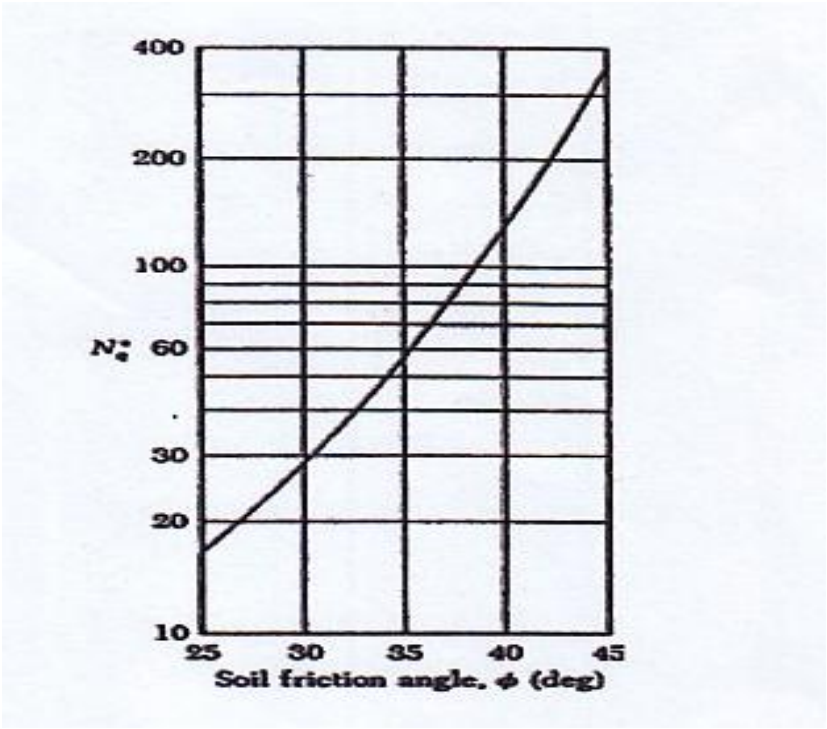
Qp = Tahanan ujung per satuan luas, ton.

Ap = Luas penampang bore pile, m².

q' = Tekanan vertical efektif, ton/m².

Nq* = Faktor daya dukung tanah.

korelasi antara φ dan Nq* seperti terlihat pada gambar 4 berikut ini :




Gambar 4. Faktor Nq*

2. Daya dukung selimut bore pile (skin friction)

Qs = fi .Li .p……( 16)

Dimana :

fi = Tahanan satuan skin friction, ton/m².

Li = Panjang lapisan tanah, m.

p = Keliling tiang, m.

Qs = Daya dukung selimut tiang, ton.

Pada tanah kohesif :

f = $\alpha_i$* .$C_u$……...( 17)

dimana :

$\alpha_i$* = Faktor adhesi, 0,55

Cu = Undrained cohesion, ton/m².

Pada tanah non-kohesif :

f $= K_0 \,.\, \sigma_v' \,.\, tan_\delta$……..…( 18)

dimana :

$K_0$ = Koefisien tekanan tanah

$K_0$ = 1 – sin φ

$\sigma_v'$ = Tegangan vertical efektif tanah, ton/m².

$\sigma_v'$ = γ . L'

L' = 15D

D = Diameter

δ = 0,8 . φ

## 2.10. Pondasi Tiang Kelompok (*Pile Group*)

Pada keadaan sebenarnya jarang sekali didapatkan pondasi tiang yang berdiri sendiri (*Single Pile*), akan tetapi kita sering mendapatkan pondasi tiang dalam bentuk kelompok (*Pile Group*).Untuk mempersatukan tiang-tiang tersebut dalam satu kelompok tiang biasanya di atas tiang tersebut diberi poer (*footing*). Dalam perhitungan poer dianggap/dibuat kaku sempurna, sehingga :

1. Bila beban-beban yang bekerja pada kelompok tiang tersebut menimbulkan penurunan, maka setelah penurunan bidang poer tetap merupakan bidang datar.
2. Gaya yang bekerja pada tiang berbanding lurus dengan penurunan tiang-tiang.

## 2.11. Jarak Tiang

Jarak minimum tiang yang merupakan fungsi dari panjang tiang dihitung dengan persamaan Fellenius (2006) :

s = 2,5d + 0,02L .....( 19)

Dengan:

s = jarak minimum sumbu tiang (m)

d = diameter atau lebar tiang (m)

L = kedalaman penetrasi tiang (m)

## 2.12.Kapasitas Kelompok Tiang dan Efisiensi *Bored Pile*

1. Kapasitas Kelompok Tiang

Kapasitas kelompok tiang tidak selalu sama dengan jumlah kapasitas tiang tunggal yang berada dalam kelompoknya.

Stabilitas kelompok tiang tergantung dari 2 (dua) hal, yaitu:

a. Kemampuan tanah di sekitar dan di bawah kelompok tiang untuk mendukung beban total struktur.
b. Pengaruh konsolidasi tanah yang terletak di bawah kelompok tiang.

Pada tiang tunggal, interaksi yang terjadi hanyalah tiang dengan tanah, sedangkan pada kelompok tiang akan ada interaksi antara tiang dengan tanah dan tiang dengan tiang yang lainnya. Interaksi ini akan lebih besar jika jarak tiang semakin dekat. Jika pada salah satu tiang pada kelompok tiang didesak sehingga terjadi penurunan, maka tiang disekitarnya akan ikut turun akibat tertarik oleh tanah disekitar tiang yang dibebani. Berdasarkan kondisi tersebut, maka akan terjadi penurunan tiang akibat

beban yang didukung tiang didekatnya walaupun tiang tersebut tidak terbebani. Hal ini akan mengakibatkan kapasitas dukung tiang menjadi berkurang jika dibandingkan dengan kondisi tiang tunggal. Analisis ini dikembangkan dengan menganggap tidak ada *pile cap*.

2. Efisiensi *Bored Pile*

Efisiensi *Bored Pile* bergantung pada beberapa faktor, yaitu:

a. Jumlah, panjang, diameter, susunan dan jarak tiang.
b. Model transfer beban (tahanan gesek terhadap tahanan dukung ujung).
c. Prosedur pelaksanaan pemasangan tiang.
d. Urutan pemasangan tiang
e. Macam-macam tanah.
f. Waktu setelah pemasangan tiang.
g. Interaksi antara pelat penutup tiang (*pile cap*) dengan tanah.
h. Arah dari beban yang bekerja.

Persamaan dari efisiensi tiang menurut *Converse-Labarre Formula* (Hardiyatmo, 2010)adalah sebagai berikut:

$$Eg = 1 - \theta \frac{(n'-1)m+(m-1)n'}{90mn'} \quad (20)$$

Dengan:

Eg = efisiensi kelompok tiang

m = jumlah baris tiang

n’ = jumlah tiang dalam satu baris

υ = arc tg *d/s* , dalam derajat

s = jarak pusat ke pusat tiang

d = diameter tiang

Efisiensi kelompok tiang didefinisikan sebagai:

$$Eg = \frac{Qg}{nQu} \quad (21)$$

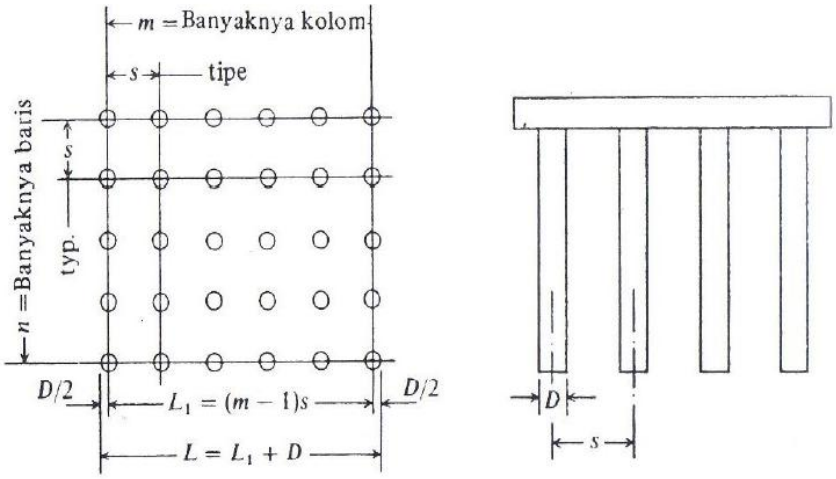
Dengan:

Eg = Efisiensi kelompok tiang

Qg = Beban maksimum kelompok tiang yang mengakibatkan keruntuhan

Qu = Beban maksimum tiang tunggal yang mengakibatkan keruntuhan

n = Jumlah tiang dalam kelompok




Gambar 5. Efisiensi Kelompok Tiang

3. Kapasitas Izin Kelompok Tiang

   Kapasitas izin kelompok tiang menggunakan persamaan:

   Kapasitas izin kelompok tiang = Eg × n × Qu.....( 22)

## 2.13. Pembebanan pada Pondasi Kelompok Tiang

Gaya luar yang bekerja pada kepala tiang (kolom) didistribusikan pada *pile cap* dan kelompok tiang pondasi berdasarkan rumus elastisitas dengan menganggap bahwa *pile cap* kaku sempurna (pelat pondasi cukup tebal), sehingga pengaruh gaya yang bekerja tidak menyebabkan *pile cap* melengkung atau deformasi.

Maka persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{V}{n} \pm \frac{My\ xi}{\sum x^2} \pm \frac{Mx\ yi}{\sum y^2} \quad (23)$$

Dengan:

P = Beban maksimum yang diterima oleh tiang

ΣV = Jumlah total beban normal

Mx = Momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu x

My = momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu y

x = absis terhadap titik berat kelompok tiang

y = ordinat terhadap titik berat kelompok tiang

$\Sigma x^2$ = jumlah kuadrat absis-absis tiang

$\Sigma y^2$ = jumlah kuadrat ordinat-ordinat tiang

## 2.14. Penurunan (*Settlement*)

Di atas kelompok tiang (*pile group*), biasanya diletakkan suatu konstruksi *poer* yang kaku yang mempersatukan kelompok tiang tersebut. Dengan *poer* yang kokoh ini diharapkan terjadi *settlement* yang merata apabila kelompok tiang tersebut dibebani secara merata.

Problem utama dalam menghitung penurunan kelompok tiang, antara lain:

- Dalam memprediksi besarnya tegangan di dalam tanah akibat beban tiang dan sifat-sifat tanah yang berada di bawah ujung tiang.
- Dalam menentukan besarnya beban yang di dukung oleh masing-masing tiang di dalam kelompoknya dan beban aksial yang terjadi di sepanjang tiang-tiang tersebut, untuk menghitung perpendekan tiang.

**1. Penurunan Pada Tiang Tunggal**

Rumus perhitungan penurunan tiang tunggal:

$$S = Ss + Sp + Sps \quad \text{..... ( 24)}$$

$$Ss = \frac{(Qp + \alpha Qs)L}{Ap\ Ep} \quad \text{..... ( 25)}$$

$$Sp = \frac{Cp \times Qb}{D \times qp} \quad \text{..... ( 26)}$$

$$Sps = \left(\frac{Qws}{p \times L}\right) x \frac{D}{Es} x(1 - \mu_s^2)\ x\ I_{ws} \quad \text{..... ( 27)}$$

Dimana:

S = Penurunan total pondasi tiang tunggal (m)

Ss = Penurunan akibat deformasi axial tiang tunggal (m)

Sp = Penurunan akibat beban pada ujung tiang (m)

Sps = Penurunan akibat beban pada sepanjang tiang (m)

Qp = Daya dukung ujung tiang

Qs = Daya dukung selimut tiang

L = Panjang tiang

Ap = Luas ujung tiang bawah

Ep = Modulus elastisitas material tiang

$\alpha$ = 0,5 jika distribusi gesekan berbentuk parabola atau 0,67 jika berbentuk segitiga

Cp = Koefisien empiris

D = Diameter tiang

Qp = Daya dukung batas ujung tiang

p = Keliling penampang tiang

L = Panjang tiang

Es = Modulus elastisitas tanah

$\mu_s$ = Angka poisson

Iws = Faktor pengaruh

Tabel 9. Nilai koefisien Cp

| **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 | 0,03 – 0,05 | 0,09 – 0,12 |

Tabel 10. Angka poisson (μ)

| **Jenis Tanah** | M |
|---|---|
| Lempung jenuh | 0,4 – 0,5 |
| Lempung tak jenuh | 0,1 – 0,3 |
| Lempung berpasir | 0,2 – 0,3 |
| Lanau | 0,3 – 0,35 |
| Pasir padat | 0,2 – 0,4 |
| Pasir kasar (angka pori, e = 0,4 – 0,7) | 0,15 |
| Pasir halus (angka pori, e = 0,4 – 0,7) | 0,25 |
| Batu (tergantung dari jenisnya) | 0,1 – 0,4 |
| *Loose* | 0,1 – 0,3 |

*Sumber : Hardiyatmo, 2011*

Tabel 11. Modulus elastis tanah (Es)

| Jenis Tanah | $E_s$ (kN/m$^2$) |
|---|---|
| **Lempung** | |
| Sangat lunak | 300 - 3000 |
| Lunak | 2000 - 4000 |
| Sedang | 4500 - 9000 |
| Keras | 7000 - 20000 |
| Berpasir | 30000 - 42500 |
| **Pasir** | |
| Berlanau | 5000 - 20000 |
| Tidak padat | 10000 - 25000 |
| Padat | 50000 -100000 |
| **Pasir dan kerikil** | |
| Padat | 80000 - 200000 |
| Tidak padat | 50000 - 140000 |
| **Lanau** | 2000 -20000 |
| **Loess** | 15000 - 60000 |
| **Serpih** | 140000 - 1400000 |

*Sumber : Hardiyatmo, 2011*

**2. Penurunan Pada Tiang Kelompok**

Hubungan penurunan antara tiang tunggal dan kelompok tiang:

$$Sg = S\sqrt{\frac{Bg}{Ds}} \quad \text{.....( 28)}$$

Dimana:

Sg = Penurunan kelompok tiang (m)

B = Lebar kelompok tiang (m)

S = Penurunan tiang tunggal pada intensitas beban yang sama (m)

D = Diameter tiang (m)

## 2.15. Daya Dukung Lateral

Pondasi *bored pile* terkadang harus menahan beban lateral (horizontal) seperti beban angin, beban gempa dan tekanan tanah lateral. Beban-beban tersebut akan bekerja pada ujung atas kepala tiang.Gaya lateral yang paling mempengaruhi daya dukung lateral pada pondasi adalah gaya akibat tekanan tanah. Jika gaya lateral yang harus didukung tiang sangat besar, maka dapat digunakan tiang miring.

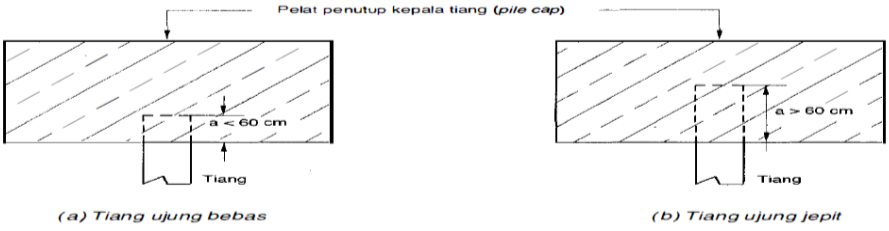
Dalam analisis gaya lateral, tiang-tiang perlu dibedakan menurut model ikatannya dengan pelat penutup tiang. Model ikatan tersebut sangat mempengaruhi kelakuan tiang dalam mendukung beban lateral. Tiang-tiang dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu:

1. Tiang ujung jepit (*fixed end pile*)

   Definisi tiang ujung jepit (*fixed end pile*) menurut McNulty adalah tiang yang ujung atasnya terjepit (tertanam) dalam pelat penutup kepala tiang paling sedikit sedalam 60 cm (24 inch)

2. Tiang ujung bebas (*free end pile*)

   Tiang ujung bebas adalah tiang yang bagian atasnya tidak terjepit atau terjepit kedalam pelat penutup kepala tiang tetapi kurang dari 60 cm.




Gambar 6. Definisi tiang ujung jepit dan ujung bebas

McNulty (1956) menyarankan perpindahan lateral ijin pada bangunan gedung adalah 6 mm (Hardiyatmo, 2010).

## 2.16.Penentuan Kriteria Tiang Panjang dan Tiang Pendek

Untuk menghitung daya dukung lateral, perlu diketahui jenis tiang pondasi, yaitu tiang pendek dan panjang. Kriteria tiang pendek dan panjangditentukan berdasarkan kekakuan relatif R atau T.

$$Ip = \frac{1}{12} x\ b\ x\ h^3 \quad (29)$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{Ep \times Ip}{\eta h}} \quad (30)$$

Dimana:

Ep = Modulus elastis tiang (kN/m$^2$)

Ip = Momen inersia tiang

ηh = Koefisien variasi modulus

Tabel 12. Kriteria tiang pendek dan panjang

| **Jenis Tiang** | **Modulus Tanah** | |
|---|---|---|
| Kaku (Pendek) | L ≤ 2T | L ≤ 2R |
| Elastis (Panjang) | L ≥ 4T | L ≥ 0,35 R |

*Sumber : Hardiyatmo, 2010*

## 2.17.Daya Dukung Lateral Tiang Tunggal

Hasil penelitian Poulus menjelaskan bahwa defleksi maksimum terjadi pada permukaan tanah. Defleksi tersebut diakibatkan adanya beban horisontal dan momen yang terjadi pada kepala tiang. Daya dukung lateral tiang tunggal dihitung dengan metode Broms (Hardiyatmo, 2010)

a. Tiang ujung bebas

$f = Hu/ (9Cu\ d)$.....( 31)

$Mmak = Hu\ (e + 3d/2 + 1/2\ f)$.....( 32)

Momen maksimum dapat pula dinyatakan oleh persamaan:

$Mmak = (9/4)\ dg^2\ Cu$.....( 33)

Dengan $L = 3d/2 + f + g$, maka Hu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 31 dan 32. Nilai-nilai Hu yang diplot dalam grafik hubungan L/d dan Hu/Cu $d^2$, ditunjukkan pada Gambar 7a. Grafik tersebut berlaku untuk tiang pendek apabila My>Mmak, dan untuk tiang panjang My<Mmak, maka Hu dapat diperoleh dari persamaan 33 dan 34. Penyelesaian dari persamaan yang diperoleh, digambarkan dalam hubungan antara My/Cu $d^3$ dan Hu/Cu $d^2$ ditunjukkan dalam Gambar 7.

a. Tiang ujung jepit

Untuk tiang panjang dihitung dengan persamaan:

$$Hu = \frac{2\,M_Y}{\frac{3d}{2}+\frac{f}{2}} \quad \text{..... ( 34)}$$

Untuk tiang pendek dihitung dengan persamaan:

$$Hu = 9c_u d(L - 3d/2) \quad \text{..... ( 35)}$$

$$Mmak = Hu\,(L/2 + 3d/4) \quad \text{..... ( 36)}$$

$$My = (9/4)\,c_u\,d\,g^2 - 9c_u d\,f(3d/2 + f/2). \quad \text{..... (37)}$$

Dimana:

Hu = Daya dukung lateral

My = Tahanan momen tiang

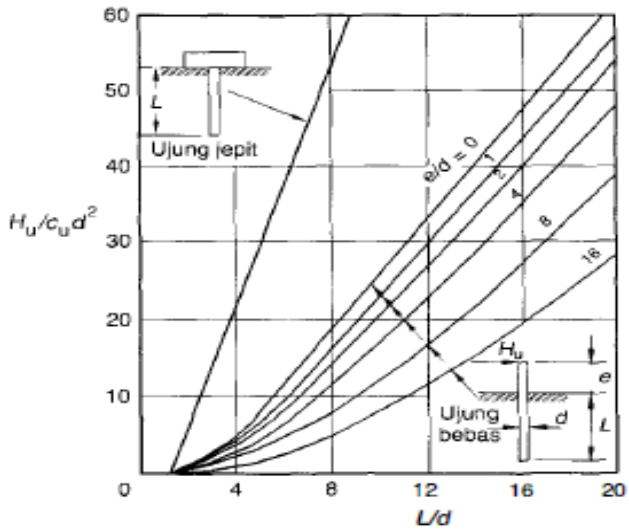
Mmak = Momen (negatif) pada kepala tiang

L = Kedalaman pondasi

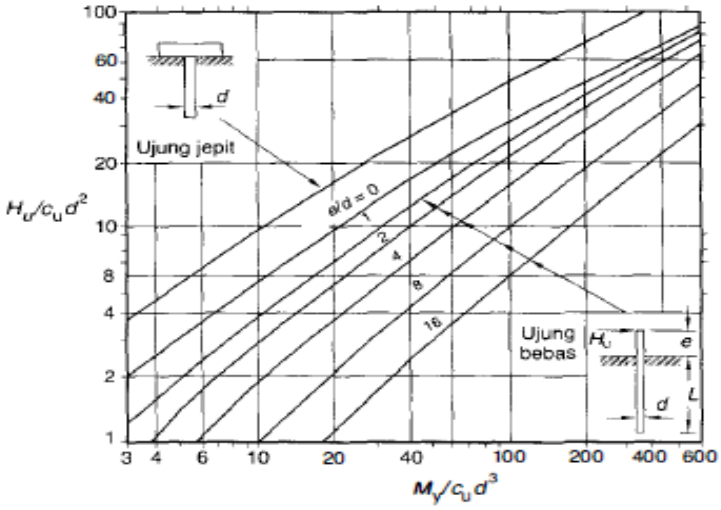
d = Diameter pondasi

f = $Hu/(9c_u d)$ = Letak momen maksimum

Kp = Nilai dari $\tan^2 (45^o + \frac{\theta}{2})$




(a) Tiang pendek




(b) Tiang panjang

Gambar 7. Tahanan Lateral Ultimit Tiang dalam Tanah Kohesif (Hardiyatmo, 2010)

## 2.18.Daya Dukung Lateral Kelompok Tiang

Daya dukung kelompok tiang dirumuskan sebagai berikut:

$$Hg = \sum_{j=i}^{n} Hu \quad (38)$$

Dimana:

Hg = Beban lateral kelompok tiang (kN)

Hu = Beban lateral tiang tunggal (kN)

n = Jumlah tiang

## 2.19.Defleksi Kelompok Tiang

Nilai defleksi kelompok tiang dihitung dirumuskan sebagai berikut:

$$yo = \frac{H\,(e+zf)^3}{12\ Ep\ Ip} \quad (39)$$

Dimana: :

yo = Defleksi tiang

e = Jarak beban terhadap muka tanah

zf = Jarak titik jepit dari muka tanah

H = Beban lateral

## 2.20.Perencanaan *Pile Cap*

*Pile cap* adalah pelat penutup tiang yang berfungsi menyebarkan beban dari kolom ke tiang-tiang.

Langkah-langkah dalam perencanaan *pile cap* yaitu:

1. Merencanakan banyak tiang dalam satu *pile cap*, dengan membagi beban dari kolom dengan beban satu tiang bor atau daya dukung izin.
2. Menentukan tebal *pile cap*

Tebal pile cap akan dipilih sedemikian agar dapat memenuhi ketentuan yakni:

$\text{Ø}Vc > Vu$ ..... ( 40)

Dimana:

Vu = Beban aksial pada kolom

$\text{Ø } Vc = \frac{1}{3} x \text{ Ø} x \sqrt{f'c} \text{ x } b_o \text{ x } d$ ..... ( 41)

$b_o = 2 \text{ x } \{(b + h) + (2 \text{ x } d)\}$ ..... ( 42)

3. Menghitung momen nominal

$Mu = \frac{1}{2} W_u \, l^2$ ..... ( 43)

$Mn = \frac{Mu}{\text{Ø}}$ ..... ( 44)

4. Menghitung $\rho_{balance}$, $\rho_{max}$, $\rho_{min}$ dan $\rho$

$\rho_{balance} = 0{,}85 \text{ x } \beta_1 \text{ x } \frac{f'c}{fy} x \frac{600}{(600+fy)}$ ..... ( 45)

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

$\beta_1$ = 0,85 – 0,008 (f'c – 30) ..... ( 46)

$\rho_{max}$ = 0,75 x$\rho_{balance}$ ..... ( 47)

$\rho_{min}$ $=\frac{1,4}{fy}$..... ( 48)

Rn $= \frac{Mn}{b \times d^2}$..... ( 49)

m $= \frac{fy}{0,85 \times f'c}$. ..... ( 50)

$\rho$ $= \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ m\ Rn}{fy}}\right)$ . ..... ( 51)

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

5. Menghitung luas tulangan yang dibutuhkan

As = ρ x b x d ..... ( 52)

A tulangan $= \frac{1}{4}$ x π x $D^2$..... ( 53)

Jumlah tulangan (n) $= \frac{As}{A\ tulangan}$. ..... ( 54)

As terpakai = n x luas tulangan ..... ( 55)

Jarak tulangan= $\frac{lebar\ (b)}{n-1}$. ..... .( 56)

6. Menghitung lengan momen dalam (a)

a $= \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b}$ . ..... ( 57)

7. Menghitung momen nominal

$Mn_2$ = As x fy x (d - $\frac{a}{2}$) ..... ( 58)

Syarat: $Mn_1 < Mn_2$ ... OK !