**BAB II**

**LANDASAN TEORI**

**2.1. Tinjauan Pustaka**

Dari hasil penelusuran yang dilakukan, guna mendukung pembahasan skripsi ini, peneliti menemukan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Hal ini menjadi referensi dan pedoman dalam penulisan skripsi ini. Adapun referensi jurnal dan buku sebagai berikut:

Peranginangin, Natalia Ita Karina (2017) Pengaruh Jumlah Tiang Bor Terhadap Kapasitas Dan Penurunan Pondasi Tiang Rakit Pada Proyek Apartemen *Vittoria Residence*, Jakarta Barat. Hasil penelitian Natalia yakni dari beban renana yang telah ditentukan dengan dua diameter pondasi yang berbeda yakni 0,8m dan 1,2m didapat masing masing kapasitas daya dukung pondasi tiang rakit yakni 136ribu ton dengan jumlah tiang 228 tiang dan 130ribu ton dengan jumlah tiang 128 tiang dengan waktu pengerjaan pondasi tiang masing masing 38 hari dan 25 hari.dengan penurunan masing masing 0,033m dan 0,023m yang dianalisis dengan Plaxis 2D masih dalam batas aman.

Hulu, Henry Beteholy, Rudy Iskandar : Analisis Daya Dukung Pondasi *Bore Pile* Dengan Menggunakan Metode Analitis (Studi Kasus Proyek Manhattan Mall dan Condominium) Hasil dari penelitian Henry Beteholy Hulu, Rudy Iskandar yaitu mendapatkan kapasitas daya dukung pondasi tiang tunggal menggunakan metode analitis sebesar 445 ton dan selanjutnya di bandingkan dengan hasil kapasitas daya dukung dengan metode loading test sebesar 501 ton dan metode elemen hingga 571 ton. Perbedaan kapasitas daya dukung yang di dapat diengaruhi oleh bedanya cara atau metode yang digunakan dalam perhitungan.

Saputro, Dona Dwi, Haryo Koco Buwono (2013) Studi Pengaruh Jarak Tiang Pancang Pada Kelompok Tiang Terhadap Perubahan Dimensi *Pile Cap*. Hasil Penelitian dari Dona yaitu berdasarkan metode analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa hubungan antara jarak antar tiang 2D, 2,5D dan 3D dengan tebal *pile cap*, menunjukkan grafik linear yakni semakin panjang jarak antar tiang, luasan *pile cap* akan semakin besar. dihasilkan tPC = - 23,571(Lt) + 1371,4 untuk 3 pile, sedang untuk 6 pile adalah tPC = -25(Lt) +1375, dimana tPC adalah tebal pile cap dan Lt adalah jarak antar tiang.

**2.2 Landasan Teori**

**2.2.1 Tanah**

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. (Hardiyatmo, 2006)

**2.2.2** **Parameter Tanah**

Segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Bagian tanah yang kering, maka tanah hanya terdiri dari dua bagian, yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori (Hardiyatmo, 2006). Bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase dan memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai volume (v) dan berat total (w) ditunjukkan dalam gambar 2.10 dibawah ini :



 **Gambar 2.1** Diagram fase tanah (Sumber : Hardiyatmo, 2006)

Dari memperhatikan gambar tersebut dapat dibentuk persamaan :

W = Ws + Ww (2.1)

Dan

V = Vs + Vw + Va (2.2)

Vv = Vw + Va (2.3)

Dengan,

Ws = berat butiran padar (kN)

Ww = berat air (kN)

Vs = volume butiran padat (m3)

Vw = volume air (m3)

Va = volume udara (m3)

Berat volume kering $(γd$) atau $(γunsat)$, adalah perbandingan antara berat butiran (Ws) dengan volume total (V) tanah.

 $γd$ (kN/m3) = $\frac{Ws}{V}$ (2.4)

Atau

$γd$ (kN/m3) = $\frac{Gs. γw }{1+e}$ (2.5)

berat volume jenuh air (s=100%) ($γsat)$, adalah berat tanah yang bersifat jenuh air.

 $γ\_{sat}$ (kN/m3) = $\frac{γw(Gs+e)}{1+e}$ (2.6)

Dengan :

 $γ\_{sat}$ = Berat volume jenuh air (kN/m3)

 $γd $ = Berat volume kering (kN/m3)

$Gs$ = Berat Jenis

 $e$ = Angka pori

1. *Modulus Young*

Nilai *modulus young* menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *Triaxial Test*. Nilai modulus elastisitas (Es) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti terlihat pada Tabel 2.5 dan Tabel 2.6 :

Dengan menggunakan data sondir, booring dan grafik triaksial dapat digunakan untuk mencari besarnya nilai elastisitas tanah. Nilai yang dibutuhkan adalah nilai qc atau *cone resistance*. Yaitu dengan menggunakan rumus :

 E = 2.qc kg/cm2

 E = 3.qc (untuk pasir)

 E = 2 sampai 8. qc (untuk lempung)

Nilai yang dibutuhkan adalah nilai N. Modulus elastisitas didekati dengan menggunakan rumus :

 E = 6 (N+5) k/ft2 (untuk pasir berlempung)

 E = 10 (N+15) k/ft2 (untuk pasir)

**Tabel 2.1** Hubungan antara Es dengan qc

|  |  |
| --- | --- |
| **Jenis Tanah** | **CPT (kg/cm2)** |
| Pasir terkonsolidasi normal | Es = (2 – 4) qc |
| Pasir over konsolidasi | Es = (6 – 30) qc |
| Pasir berlempung | Es = (3 – 6) qc |
| Pasir berlanau  | Es = (1 – 2) qc |
| Lempung lunak | Es = (3 – 8) qc |

 *(Sumber : Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 1)*

Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah menurut Bowles dapat dilihat pada Tabel 2.6 :

 **Tabel 2.2** Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

|  |  |
| --- | --- |
| **Macam Tanah** | **E (kN/m2)** |
| LEMPUNG1. Sangat Lunak
2. Lunak
3. Sedang
4. Keras
5. Berpasir
 | 300 – 30002000 - 40004500 – 90007000 - 2000030000 – 42500 |

Lanjutan tabel 2.2 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

|  |  |
| --- | --- |
| Macam Tanah | E (kN/m2) |
| PASIR* Berlanau
* Tidak Padat
* Padat

PASIR DAN KERIKIL* Padat
* Tidak Padat

LANAULOSESCADAS | 5000 – 2000010000 – 2500050000 - 10000080000 - 20000050000 – 1400002000 – 2000015000 – 60000140000 - 1400000 |

*(Sumber Bowless, 1997)*

1. *Poisson Ratio*

Nilai *poisson ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan permuaian lateral. Nilai *poisson ratio* dapat ditentukan berdasar jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 2.7 dibawah ini.

**Tabel 2.3** Hubungan antara Jenis Tanah dan Poisson Ratio

|  |  |
| --- | --- |
| **Jenis Tanah** | **Poisson Ratio (**$μ)$ |
| 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 | 0,1 – 1,0 |
| Batuan  | 0,1 – 0,4 |
| Umum dipakai untuk tanah | 0,3 – 0,4 |

*(Sumber : Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 1)*

1. Sudut Geser Dalam

Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geserndalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapatkan dari pengukuran engineering properties tanah dengan Direct Shear Test. Hubungan antara sudut geser dalam dan jenis ditunjukkan pada Tabel 2.8 :

**Tabel 2.4** Hubungan antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

|  |  |
| --- | --- |
| Jenis Tanah | Sudut Geser Dalam ($∅)$ |
| Kerikil kepasiran | 350 - 400 |
| Kerikil kerakal | 350 - 400 |
| Pasir padat | 350 - 400 |
| Pasir lepas | 300 |
| Lempung kelanauan | 250 - 300 |
| Lempung | 200 - 250 |

 *(Sumber : Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 1*

1. Angka Pori

Angka pori merupakan perbandingan volume rongga (Vv) dengan volume butiran (Vs), hubungan angka pori dengan jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.9 dibawah ini :

**Tabel 2.5** Hubungan angka pori dengan jenis tanah

|  |  |
| --- | --- |
| Jenis Tanah | Angka Pori (e) |
| Pasir lepas seragam | 0,80 |
| Pasir padat seragam | 0,45 |
| Pasir kelanauan lepasBerbutir tajam/bersudut | 0,65 |
| Lempung kaku | 0,60 |

Lanjutan tabel 2.5 Hubungan angka pori dengan jenis tanah

|  |  |
| --- | --- |
| Lempung lunak | 0,90 – 1,40 |
| Loses | 0,90 |
| Lempung organik lunak | 2,50 – 3,20 |
| Tanah galian | 0,30 |

 *(sumber : mekanika tanah, Djatmiko.Soedarmo jilid 1)*

**2.2.3 Pondasi**

Pondasi adalah bagian terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang berada dibawahnya. Terdapat dua klasifikasi pondasi, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal didefinisikan sebagai pondasi yang mendukung bebannya secara langsung. Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak relatif jauh dari permukaan (Hardiyatmo, 1996).

**2.2.3.1 Pondasi tiang bor (*Bore Pile*)**

*Bore pile* adalah pondasi dalam yang dibangun di dalam permukaantanah, pondasi di tempatkan sampai ke dalaman yang dibutuhkan dengan cara membuat lobang dengan sistem pengeboran atau pengerukan tanah. Berdasarkan cara mendukung beban, tiang bor dapat dibagi menjadi dua macam (Hardiyatmo 2002), yaitu tahanan ujung tiang (*end bearing pile*) dan tahanan gesek tiang (friction pile).



 **Gambar 2.2** *Bored Pile*

(Sumber : <http://khammal.blogspot.co.id/2014/01/pondasi-dalam.html>)

1. Daya dukung tiang tunggal berdasarkan data N-Spt dihitung menggunakan metode Reese and O’niell (1989) yaitu :
2. Kapasitas Daya dukung ultimit tiang :

Qult = Qb + Qs – Wp (2.7)

Dimana :

Qult = Daya dukung ultimit tiang (ton)

Qb = Daya dukung ujung tiang (ton)

Qs = Daya dukung selimut tiang (ton)

Wp = Berat tiang (ton)

1. Tahanan ujung tiang pada tanah lempung (Qb):

Cu = 0.6 x N60 (2.8)

Nc\*= 6 (1+0.2 $\frac{L}{d}$ ) $\leq $ 9 (2.9)

fb = Cu x Nc’ (2.10)

Ab = $\frac{1}{4}$ x π x d2 (2.11)

Qb = Ab x fb (2.12)

Dimana :

Cu = Kohesi tak terdrainase (ton/m2)

N60 = Nilai *N-Spt* rata-rata antara ujung bawah tiang bor sampai 2db di

bawahnya

Nc\* = Faktor kapasitas dukung

L = Kedalaman ujung bawah tiang bor (m)

d = Diameter tiang bor (m)

fb = Tahanan ujung per satuan luas (ton/m2)

Ab = Luas penampang tiang bor (m2)

Qb = Daya dukung ujung tiang (ton)

1. Tahanan gesek selimut tiang (Qs) :

Cu = 0,6 × N-SPT (2.13)

fs = α × cu (2.14)

As = Df × π × d (2.15)

Qs = As × fs (2.16)

Dimana :

Cu = kohesi tak terdrainase (ton/m2)

α = Faktor adhesi

fs = Tahanan gesek per satuan luas (ton/m2)

As = Luas selimut tiang (m2)

Df = Kedalaman Pondasi (m)

Qs = Tahanan gesek selimut tiang (ton)

Dari hasil uji beban pada tiang bor, menurut (Reese dan O’Neill, 1999 dalam Analisis dan perancangan Fondasi I oleh Hardiyatmo, 2011) menyarankan :

α = 0,55 untuk Cu/pr < 1,50

dan

α = 0,55 – 0,1 (cu/pr – 1,5) untuk 1,5 ≤ Cu/pr ≤ 2,5

Dimana :

Cu = kohesi tak terdrainase (ton/m2)

pr = tekanan atmosfer atau tekanan referensi = 100 kPa.

1. Berat tiang bor :

Wp = ($ \frac{1}{4} x π x d^{2} x L$ ) $γ$beton (2.17)

Akibat adanya air tanah , tiang akan mengalami gaya angkat ke atas :

U = $\{ \frac{1}{4} x π x d^{2} x \left(L-m.a.t\right)\}$ $γ$w (2.18)

Sehingga berat tiang bor dihitung dengan :

Wp’ = Wp – U (2.19)

Dimana :

Wp = berat tiang bor (ton)

$γ$beton = berat jenis beton (ton/m2)

$γ$w = berat jenis air (ton/m2)

U = Gaya angkat keatas (ton)

1. Daya dukung izin tiang :

Qall = $\frac{Qult}{Fs}$ (2.20)

Dimana :

Qall = Daya dukung izin tiang(ton)

Qult = Daya dukung ultimit tiang (ton)

Fs = Faktor aman (Diambil F = 2,5

1. Daya dukung tiang tunggal berdasarkan data N-Spt dihitung menggunakan metode Meyerhof (1976) yaitu:

Kapasitas dukung ultimit tiang dapat dihitung secara empiris dari nilai N hasil uji SPT pada persamaan (2.21).

Qu = Qp + Qs (2.21)

Dimana:

Qu = Kapasitas dukung ultimit pondasi tiang (kN)

Qp = Kapasitas dukung pada ujung tiang (kN)

Qs = Kapasitas dukung pada selimut tiang (kN)

Meyerhof (1976) menyarankan untuk menghitung kapasitas dukung pada ujung tiang (Qp) dapat dilihat pada persamaan (2.22) dan (2.23) sebagai berikut:

Qp = Ap x fp (2.22)

fp = 0.4 x N60 x (L/d) x σr ≤ 3 x N60 x σr (2.23)

Dimana:

Qp = kapasitas dukung pada ujung tiang (kN)

Ap = Luas penampang tiang bor (m2)

N60 = NSPT yang dikoreksi terhadap pengaruh prosedur lapangan dan tekanan *overburden*

d = Diameter tiang (m)

L = Panjang Tiang (m)

σr = tegangan referensi = 100 kPa

Bila tiang bor terletak ditanah yang berlapis, maka untuk tahanan geser selimut tiang bor di peroleh dari persamaan (2.24) dan (2.25) berikut ini:

Qs = ∑fs x As  (2.24)

fs = $\frac{1}{100}$ x σr x N60  (2.25)

Dimana:

Qs = Kapasitas dukung selimut tiang (kN)

As = Luas selimut tiang (m2)

N60 = Nilai NSPT perlapisan tanah

σr = tegangan referensi = 100 kPa

1. Daya dukung kelompok tiang

Daya dukung kelompok tiang dapat di hitung dengan rumus :

Qg = Eg × n × Qu (2.26)

Dimana :

Qg = Daya dukung kelompok tiang (ton)

n = Jumlah tiang

Qu = Daya dukung tiang tunggal (ton)

Eg = Efisiensi kelompok tiang

Efisiensi kelompok tiang dapat di hitung dengan rumus:

1. Converse-Labare Formula

Eg = $1-θ\frac{\left(n-1\right)m+\left(m-1\right)n'}{90.m.n'}$ (2.27)

Dimana:

Eg = efisiensi kelompok tiang

m = jumlah baris tiang

n’ = jumlah tiang dalam satu baris

θ = arc tg d/s, dalam derajat

s = jarak pusat ke pusat tiang (m)

d = diameter tiang (m)

1. Penurunan pondasi

Penurunan pada pondasi tiang dapat dibedakan menjadi dua yaitu penurunan pada pondasi tiang tunggal dan penurunan pada pondasi tiang kelompok. Besarnya penurunan bergantung pada karakteristik tanah dan penyebaran tekanan pondasi ke tanah dibawahnya.

Perhitungan penurunan dapat dilakukan dengan dua cara yaitu, dengan metode semi-empiris dan metode empiris. Menurut Hadiharja (1997), penurunan tiang tunggal ditunjukan pada Persamaan (2.28). Penurunan akibat deformasi aksi (Ss) ditunjukan pada persamaan (2.29).

S = Ss + Sp + Sps (2.28)

Ss = $\frac{\left(Q\_{p}+ α+ Q\_{s}\right) x L}{A\_{p} x E\_{p}}$ (2.29)

Dimana:

S = penurunan total (m)

Ss = penurunan akibat deformasi aksi (m)

Sp = penurunan dari ujung tiang (m)

Sps = penurunan tiang akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang (m)

Qp = kapasitas ujung tiang (KN)

 Qs = kapasitas dukung selimut tiang (KN)

L = panjang tiang (m)

Ap = luas penampang tiang (m2)

Ep = modulus elastisitas tiang (Kn/m2)

α = koefisien distribusi gerakan selimut tiang (α = 0.5)

Penurunan dari ujung tiang (Sp) ditunjukan pada persamaan (2.30), penurunan akibat pengalihan beban sepanjang tiang (Sps) pada persamaan (2.31).

Sp = $\frac{q\_{wp} x d}{E\_{s}} x \left(1- V\_{s}^{2}\right) x I\_{wp}$ (2.30)

Sps = $\left(\frac{Q\_{s}}{p x L}\right)x \frac{d}{E\_{s}} x \left(1-2 x V\_{s}\right) x I\_{ws}$ (2.31)

Iws = 2 + 0.35 x $\sqrt{\frac{L}{d}}$ (2.32)

Dimana :

Sp = penurunan dari ujung tiang (m)

Sps = penurunan tiang akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang (m)

qwp = beban ujung perunit luas (KN/m2)

d = diameter tiang (m)

Es = modulus elastisitas tanah (KN/m2)

Iwp = faktor pengaruh ujung tiang =0.85

Vs = *poisson ratio* tanah (Vs = 0.2 – 0.3)

Qs = kapasitas dukung selimut tiang (KN)

p = keliling tiang (m)

L = panjang tiang yang tertanam (m)

Iws = faktor pengaruh selimut tiang

Jika beban yang dipikul pondasi lebih kecil atau sama dengan tahanan ujung tiang, maka penurunan yang terjadi akan sangat kecil. Untuk menentukan penurunan pada kelompok pondasi menggunakan metode Vesic (1997) ditunjukan pada persamaan (2.29).

Sg = S x $\sqrt{\frac{B\_{g}}{d}}$ (2.33)

Dimana :

Sg = penurunan kelompok tiang (m)

S = penurunan tiang tunggal (m)

Bg = lebar kelompok tiang (m)

d = diameter tiang (m)

Penurunan dapat diprediksi dengan ketetapan yang memadai, umumnya dapat diadakan hubungan antara penurunan yang diijinkan dengan penurunan maksimum. Syarat perbandingan penurunan yang aman disajikan pada persamaan (2.30).

Stotal ≤ Sizin = 10% x d (2.34)

Dimana :

d = diameter tiang 9m)

Sizin = Penurunan diizinkan

**Tabel 2.6** Batas Penurunan Maksimum Menurut Skempton Dan Macdonald (1995)

|  |  |
| --- | --- |
| Jenis Pondasi | Batas penurunan maksimum (mm) |
| Pondasi terpisah pada tanah lempung | 65 |
| Pondasi terpisah pada tanah pasir | 40 |
| Pondasi rakit pada tanah lempung | 65-100 |
| Pondasi rakit pada tanah pasir | 40-65 |

(Sumber : Hardiyatmo, 2011)

Atau Kriteria maksimum pada tanah lempung dapat diprediksi dengan ketetapan yang memadai, umumnya dapat diadakan hubungan antara penurunan diizinkan dengan penurunan maksimum. Dimana syarat perbandingan penurunan yang aman yaitu :

Sizin = 10 % x d (2.35)

Dimana :

Sizin = Penurunan diizinkan

d = Diameter

**2.2.4 *Pile cap* / Kepala Tiang**

*Pile cap* merupakan pelat beton bertulangyang digunakan untuk menyalurkan beban konstruksi yang berada di atasnya, untuk selanjutnya diteruskan ke tiang dibawahnya. Perencanaan *pile cap* harus dilakukan dengan teliti agar tidak terjadinya kegagalan struktur.



**Gambar 2.3** *Pile cap* / kepala tiang

(Sumber : <https://www.pinterest.com/pin/501940320946323522/>)

Menurut IS 2911 (Bagian I / Seksi 3) -2010 *pile cap* dapat dirancang dengan mengasumsikan bahwa beban dari kolom terdispersi pada 45˚ dari bagian atas tutup hingga ke kedalaman tengah dari *pile cap* dari basis dari kolom atau tumpuan. Reaksi dari tumpukan juga dapat diambil untuk didistribusikan pada 45˚ dari tepi *pile cap*, sampai ke kedalaman tengah dari *pile cap*.



**Gambar 2.4** CRSI Design Handbook 2008

(Sumber : <http://www.ce-ref.com/RC_Design/Pile_cap/Pile_cap.html>)

Dimensi *pile cap*

S = 2 d $\~$ 3 d (2.36)

L = (n-1) S + d/2+ 150 + d/2 + 150 (2.37)

P = (m-1) S + d/2+ 150 + d/2 + 150 (2.38)

Untuk diameter tiang < 550mm

h = (2 d + 100)mm (2.39)

Untuk diameter tiang $\geq $ 550mm

h= ⅓ x( 8 d + 600) mm (2.40)

atau :

**Tabel 2.7** Penentuan Kedalaman *Pile Cap* berdasarkan Diameter Tiang

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Diameter tiang Hp(mm) | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 750 |
| Kedalaman pile cap h(mm) | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1400 | 1800 |

 (Sumber : IS 456- 2000)

Dimana:

S = spasi antara titik tengan tiang ke tiang yang lain (mm)

n = Jumlah tiang dalam satu baris

m = Jumlah tiang dalam satu kolom

d= diameter tiang (mm)

L = Lebar *pile cap* (mm)

P = panjang *pile cap* (mm)

h = tebal *pile* *cap* (mm)