# Analisis Daya Dukung Pondasi Bored Pile Tiang Tunggal Pada Proyek Rumah Sakit Internasional Surabaya

***Mikael Wora[1]**
[1]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Flores, Ende NTT
*) Correspondence e-mail : ata_kelisoke@yahoo.co.id

**ABSTRAK**

*Paper ini menyajikan tentang hasil karya imliah skripsi penulis tentang studi banding perencanan pondasi tiang pancang beton dan bored pile, dimana konstruksi pondasi tiang pancang maupun bored pile adalah jenis pondasi dalam yang berfungsi untuk memikul beban yang disalurkan dari struktur atas bangunan bertingkat 3 bangunan gedung Rumah Sakit Internasional Surabaya.Tujuan studi untuk mengetahui jenis pondasi apa yang layak digunakanan sesuai kondisi tanah yang berada dibawah bangunan sebagai pijakan, agar bangunan tersebut tetap nyaman. Metode analisis yang digunakan antara lain : Metode Paulos dan Davis adalah rumus empris, Cone Penetrasi Tes (CPT) dan Standart Penetrasi Test (SPT) adalah data hasil penyelidikan dilapangan. Berdasarkan hasil analisis metode CPT memperoleh daya dukung sebesar 590,65 kN, metode SPT daya dukung sebesar 676,30 kN, Metode Paulos dan Davis untuk tiang tunggal daya dukung sebesar 831.00 kN. Hasil analisi menyimpulkan bahwa pondasi bored pile tiang tunggal layak digunakan karena dapat memikul beban layan yang diberikan sebesar 538.30 kN.*

***Kata Kunci**: Daya dukung, Bored pile, CPT, SPT, Paulos dan Davis*

## PENDAHULUAN

Dalam bangunan gedung, pondasi merupakan salah satu komponen struktur yang paling penting, karena mempunyai fungsi untuk menahan kekokohan bangunan diatas tanah. Dalam perencanaan pondasi harus mempertibangkan penggunaan jenis pondasi, apabila salah memilih maka dapat mengakibatkan suatu bangunan akan menjadi retak, miring, sehingga bangunan tidak dapat berfungsi lagi dan membawa dampak kerugian yang besar.Pada proyek pembangunan gedung Rumah Sakit Internasional Surabaya dibangun diatas tanah lunak, yang berkohesinya lunak dan lapisannya cukup tebal. Kondisi tanah dasar ini memiliki daya dukung yang rendah, sehingga ketika menerima beban dari bangunan atas, dapat mengakibatkan penurunan yang sangat besar. Tujuan penelitian ini, untuk mengetahui apakah pondasi bored pile tiang tunggal aman dalam memikul beban struktur bangunan atas.

### Pondasi Tiang Pancang

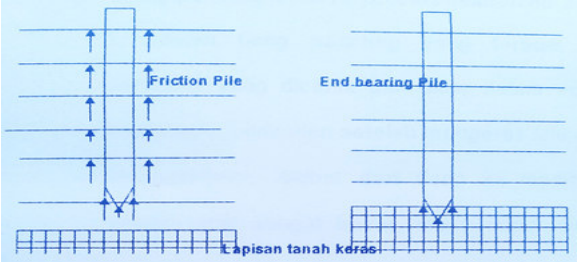
Pondasi tiang pancang adalah bagian dari struktur yang digunakan untuk menerima dan menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah penunjang yang terletak pada kedalaman tertentu. Tiang pancang bentuknya panjang dan langsing yang menyalurkan beban ke tanah yang lebih dalam. Tiang pancang adalah bagian – bagian konstruksi yang dibuat dari kayu, beton, dan / atau baja, yang digunakan untuk meneruskan beban – beban permukaan ke tingkat – tingkat permukaan yang lebih rendah dalam massa tanah (Bowles, 1993).

Penggunaan pondasi tiang pancang sebagai pondasi bangunan apabila tanah yang berada dibawah dasar bangunan tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan beban yang bekerja padanya (Sardjono HS, 1988). Atau apabila tanah yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan seluruh beban yang bekerja berada pada lapisan yang sangat dalam dari permukaan tanah kedalaman > 8 m (Bowles, 1991). Fungsi dan kegunaan dari pondasi tiang pancang adalah untuk memindahkan atau mentransfer beban-beban dari konstruksi di atasnya (super struktur) ke lapisan tanah keras yang letaknya sangat dalam.

### Jenis-jenis tiang pancang

Pondasi tiang pancang diklasifiksikan berdasarkan pemindahan beban dan mahan yang digunakan:

1. Berdasarkan Pemindahan beban yaitu tiang pancang tahanan ujung (*end bearing pile*) dan tiang pancang tahanan geser kulit (*friction pile*).
   a. tiang pancang tahanan ujung (*end bearing pile*) adalah pondasi yang meneruskan beban melalui tahanan ujung tiang ke lapisan tanah yang paling keras. Hal ini terjadi apabila kondisi tanah dibawah ujung pondasi terdapat lapisan batuan keras.
   b. tiang pancang tahanan geser kulit (*friction pile*) adalah pondasi yang meneruskan beban melalui tiang pancang kedalam tanah dengan enandalkan geseran kulit/ geseran selimut tiang pancang.




**Gambar 1. Type pondasi *friction pile* dan *end bearing pile***
(Sumber : Thomlinson 1977 hal. -11)

2. Menurut bahan yang digunakan : tiang pancang kayu, tiang pancang beton, tiang pancang baja, dan tiang pancang komposit.

**Penentuan Ukuran Tiang Pondasi**

Berdasarkan kondisi tanah dan kondisi pembebanan, maka dapat ditentukan ukuran dari tiang pancang beton yang dibutuhkan. Untuk mencegah ketentuan yang berlebihan pada saat pengankatan dan pemancangan, maka untuk tiang pancang bujur sangkar diberikan panjang aksimu yang diajukan seperti tertera pada table 1.

**Tabel 1. Ukuran Tiang Pancang**

| Satuan Metrik | | Satuan Inggris | |
|---|---|---|---|
| **Ukuran tiang (mm)** | **Panjang maks (m)** | **Ukuran tiang (inc)** | **Panjang maks (ft)** |
| 250 | 12 | 10 | 40 |
| 300 | 15 | 12 | 50 |
| 350 | 18 | 4 | 60 |
| 400 | 2 | 16 | 70 |
| 450 | 25 | 18 | 80 |

Sumber : Thomlinson, 1971 : 25

Daya dukung tiang pancang tunggal berdasarkan kekuatan bahan
Menurut Sarjono (1991 : 32)
Rumus :
$Ptiang = \sigma_{bahan} \times A_{tiang}$
Dimana :
$P_{tiang}$ = Kekuatan yang diijinkan pada tiang pancang (kg)
$\sigma_{bahan}$ = Tegangan ijin bahan tiang (kg/cm$^2$)
$A_{tiang}$ = Luas penampang tiang (cm$^2$)

**Daya dukung tiang Bores tunggal berdasarkan data sondir (CPT)**.

$$Qa = \frac{p.A}{3} + \frac{O.f}{5}$$

Dimana :
Qa = Daya dukung tanah ijin (kg)
p = Tekanan penetrasi konus
f = Jumlah hambatan pelekat (kg/cm)

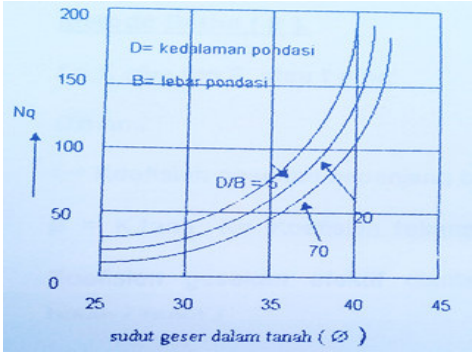
A = Luas penampang tiang (cm2)
O = keliling tiang (cm)

**Daya Dukung Tiang Bore Tunggal Berdasarkan Data Boring**

Daya dukung yang didasarkan pada data-data boring adalah menentukan kekuatan tanah dari hasil pemeriksaan dilapangan dengan alat sondir dengan ujung konus besudut $60^0$ dan luasan 10 cm2. Dua jenis alat sondir yang besarnya dipergunakan adalah standart point, yang hanya menunjukkan perlawanan penetrasi konus dan hambatan lekat. Daya dukung aksial pondasi dalam, uumnya terdiri dari dua bagian yaitu : daya dukung akibat gesekan dan daya dukung ujung (dasar) tiang. Dengan formulasinya sebagai berikut :
Qult = Qsu + Qbu
Dimana :
Qult = Daya dukung batas (*ultimate*) tiang
Qsu = Daya dukung batas gesekkan sepanjang badan tiang
Qbu = Daya dukung batas ujung tiang
Pada perhitungan daya dukung ujung, formulasnya dibedakan antara tanah lempung dan tanah pasir.

***Untuk tanah lempung***
Pada tanah lempung menggunakan persamaan sebagai beriku :
Qbu = Su.Nc.Ap
Dimana :
Su = kohesi atau kuat geser
Nc = Faktor daya dukung yang besarnya diambil 9
Ap = Luas penampang dasar (ujung) tiang

***Untuk tanah pasir***
Pada tanah pasir menggunakan persamaan sebagai berikut :
Qbu = q' (Nq – 1 ) Ap
Dimana :
q' = Efektif tanah pada ujung tiang
Nq = Faktor daya dukung yang merupakan fungsi sudut geser tanah Φ (gambar 2)




**Gambar 2. Nilai Nq yang diturunkan oleh Berezantsev (Simon & Menzies, 1970)**
Sumber : Majalah Konstruksi, April 1997 : 4)

Perhitungan daya dukung geser, juga dibedakan atas tanah lempung dan tanah pasir. Secara umum persamaan adalah :
Qsu = f.As
Dimana :
f = Koefisien gesekan sepanjang badan tiang
As = Luas badan tiang

Untuk tanah lempung, biasanya koefisien gesek (f), dihitung dengan metode alpha, metode lambda, metode betha. Sedangkan untuk tanah pasir, koefisien gesekkan (f) dihitung dengan persamaan :

***Metode Betha (β)***

f = K.q'va. tan∂ atau f = βq'

Dimana :

f = Koefisien gesekkan sepanjang badan tiang

β = K.tan∂

K = Koefisien tekanan tanah lateral

tan∂ = Koefisien gesekan efektif diantara tiang pancang dan tanah (tanΦ)

***Metode Lambda (ʎ)***

Menurut Vijayvergiya dan Focht (1972) menyajikan sebuah metode alternative untuk mendapatkan tahanan kulit (f) untuk sebuah tiang pancang dalam lempung sebagai berikut :

f = ʎ (q' + 2 Su)

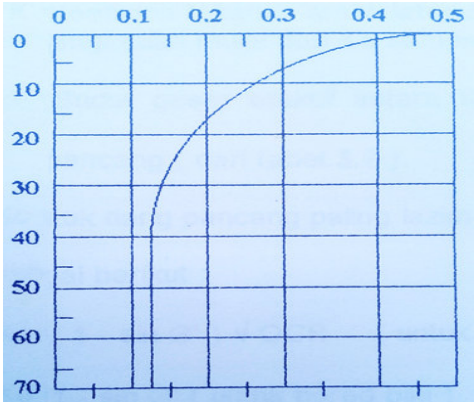
Dimana :

f = Koefisien gesek sepanjang badan tiang

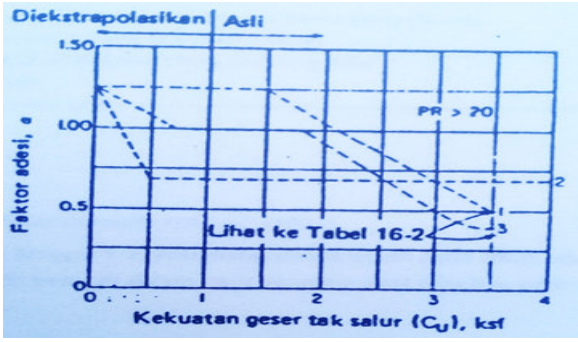
q' = Tegangan vertical efektif

Su = Kohesi atau kuat geser tak alit

ʎ = koefisien yang diperoleh dari (gambar 3)




**Gambar 3. Hubungan antara kedalaman penembusan dengan ʎ (Vijayvergiya dan Focht 1972)**
(Sumber : Bowles, 1984 : 272)




**Gambar 4. Hubungan diantara tanah dan *factor adhesi* (Thomlinson, 1971)**
(Sumber : Bowles, 1984 : 270)

***Metode Alpha (α)***

Metode alpha diusulkan oleh Tomlinson (1971), pada dasarnya tahan kulit dihitung dengan formulasi sebagai berikut :

f = αc + q'K tan Φ

Dimana :

α = Koefisien dari gambar 3.4 atau table 3.6

c = kohesi rata-rata (Su)

q' = Tegangan vertical efektif

K = Koefisien tekanan tanah lateral Ko sampai kirakira 1,75

Φ = Sudut geser efektif antara tanah dan bahan tiang pancang (dari table 4)

Ko untuk tiang pancang lazi dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Ko = (1 – sinΦ')√OCR (untuk tiang pancang)

Ko = 1 – sinΦ' (untuk bored pile)

**Tabel 2. Nilai-nilai *factor adhesi***

| Katus | Kondisi tanah | Perbandingan Penetrasi PR[1] | Faktor adhesi, a |
|---|---|---|---|
| 1 | Pasir atau kerikil berpasir yang terletak di atas tanah kohesif mulai dari yang kaku sampai dengan yang sangat kaku | < 20 | 1,25 |
| | | > 20 | Gamb. 16-11 a |
| 2 | Lempung lembek atas lumpur yang terletak di atas tanah kohesif mulai dari yang kaku sampai dengan yang sangat kaku | $8 < PR < 20$ | 0,40 |
| | | > 20 | Gamb. 16-11 a |
| 3 | Tanah-tanah kohesif mulai dari yang kaku sampai dengan yang sangat kaku tanpa strata yang terletak dintahnya | $8 < PR \leq 20$ | 0,40 |
| | | > 20 | Gamb. 16-11 a |

[1] Menurut Tomlinson (1971)
[2] Perbandingan penetrasi $PR = \frac{\text{kedalaman penetrasi ke tanah kohesif}}{\text{diameter tiang pancang}}$.

**Sumber : Bowles, 1984 : 271)**

**Tabel 3. Sudutsudut gesekan $\partial$ antara beberapa bahan pondasi dengan tanah atau batuan**

| Bahan-bahan yang mempunyai *permukaan antara* (interface) | Sudut gesekan δ, derajat [1] |
|---|---|
| Beton massa atau batuan pada benda-benda berikut : | |
| Batuan asli yang bersih | 35 |
| Kerikil bersih, campuran pasir kerikil, pasir kasar | 29–31 |
| Pasir halus yang bersih dengan pasir sedang, medium endapan dengan pasir kasar, endapan kerikil yang bersifat pekat | 24–29 |
| Pasir halus yang bersih, yang berupa endapan atau bersifat halus pekat dengan pasir sedang | 19–24 |
| Endapan berpasir halus, endapan tak bersifat plastik | 17–19 |
| Bahan reridu yang sangat kaku dengan bahan residu yang keras atau tanah liat yang terkonsolidasi sebelumnya | 22–26 |
| Tanah liat kaku sedang dengan tanah liat kaku dan tanah liat endapan | 17–19 |
| Tiang pancang lempengan baja terhadap : | |
| Kerikil bersih, campuran pasir kerikil, batuan yang telah diolah dengan baik dan yang diisi dengan batu serpih | 22 |
| Pasir bersih, campuran kerikil pasir yang mengendap, batuan keras lain yang berukuran sejenis | 17 |
| Pasir endapan, kerikil atau pasir yang bercampur endapan, atau tanah liat | 14 |
| Endapan berbentuk pasir halus, endapan yang tak bersifat plastik | 11 |
| Beton berbentuk atau tiang pancang baja beton terhadap : | |
| Kerikil bersih, campuran pasir-kerikil, batuan yang telah diolah dan diisi dengan batu serpih | 22–26 |
| Pasir bersih, campuran pasir kerikil yang mengendap, batuan keras yang berukuran semacam | 17–22 |
| Pasir endapan, kerikil atau pasir yang bercampur dengan endapan atau tanah liat | 17 |
| Endapan pasir halus, endapat tak bersifat plastik | 14 |
| Berbagai bahan bangunan : | |
| Batuan pada batuan, batu api atau batu metamorf : | |
| Batuan lembek yang dilapis pada batuan lembek yang dilapis | 35 |
| Batuan keras yang dilapis pada batuan halus yang dilapis | 33 |
| Batuan keras yang dilapis pada batuan keras yang dilapis | 29 |
| Batu bangunan pada kayu (serat bersilang) | 26 |
| Baja pada baja di titik temu tiang pancang baja | 17 |
| Kayu pada tanah | 14–16 [2] |

Sumber : Bowles, 1984 : 30)

**Tabel 4. Nilai K dan $\partial$**

| Pile material | δ | Value of $K_s$: Low relative density | Value of $K_s$: High relative density |
|---|---|---|---|
| Steel | 20° | 0.5 | 1.0 |
| Concrete | $\frac{3}{4}\phi$ | 1.0 | 2.0 |
| Wood | $\frac{2}{3}\phi$ | 1.5 | 4.0 |

(Sumber : Tomlinson, 1977)

**Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Berdasarkan Data Standart Penetration Test (SPT)**

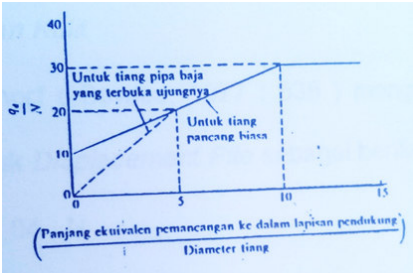
Daya dukung yang didapatkan berdasarkan data standart Penetration Test (SPT) dapat dibedakan atas dua macam yaitu daya dukung tahanan ujung dan daya dukung tahan lekat.

**Tahanan Ujung**

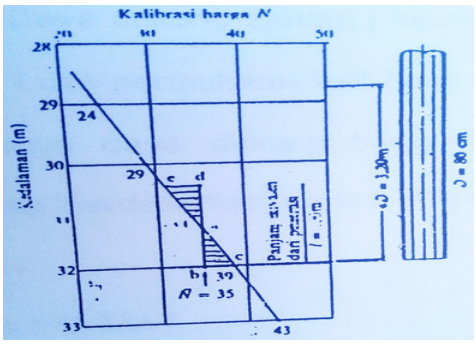
Menurut Menyerhorf (Bowles, 1977 : 535) besarnya daya dukung batas dapat dihitung dengan rumus berikut ini :
Qub = 8.N.Ab
Dimana :
N = Nilai SPT ujung tiang
Ab = Luas ujung tiang
Perkiraan daya dukung ujung tiang dapat diperoleh dari Suryono Sostrodarsono (1981 : 100) sebagai berikut :
Qub = qd.Ab

Nilai qd dapat diperoleh dari hubungan antara L/D dan qd/N pada gambar 5. Sedangkan untuk mendapatkan harga L (panjang ekivalen penetrasi tiang) ditempuh dengan langkah sebagai berikut :

1. Menentukan harga N rencana dari tanah pondasi pada ujung tiang yang besarnya :




**Gambar 5. Diagram hubungan antara qd/N dan L/D**
(Sumber : Suyono Sostrodarsono, 1981; 101)




**Gambar 6. kalibrasi harga N**
(Sumber : Suyono Sostrodarsono, 1981)

2. Harga N dapat diplot kegrafik hubungan SPT dan kedalaman, kemudian ditarik garis vertical melalui nilai N memotong kurva penetrasi. Setelah itu membuat garis horizontal melalu N1 sehingga terjadi sebuah segitiga ABC (lihat gambar 6.).
3. Kemudian ditentukan ditentukan titik D agar luasan segitiga ABC = ADE, panjang ekivalen dari penetrasi adalah BD.

**Tahanan Kulit**

Besar daya dukung tiang lekat dapat juga dihotung berdasarkan rumus dibawah ini (Suyono S. 1981 : 100)
Qus = U. ΣLi . fi
Dimana :
Qus = Tahanan kulit batas (ton)
U = Panjang keliling tiang (m)
Li = Tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang (m)
fi = Besarnya gaya geser maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang (ton/m2)
Besarnya fi tergantung pada jenis tanah pondasi dan jenis tiang.

**Tabel 5. Intensitas gaya geser dinding tiang**

(Satuan : t/m²)

| Jenis tanah pondasi \ Jenis tiang | Tiang pracetak | Tiang yang dicor di tempat |
|---|---|---|
| Tanah berpasir | $\frac{N}{5}$ ( ≦ 10) | $\frac{N}{2}$ ( ≦ 12) |
| Tanah kohesif | c atau N ( ≦ 12) | $\frac{c}{2}$ atau $\frac{N}{2}$ ( ≦ 12) |

Sumber : Suyono Sostrodarsono, 1981 : 102)

Nilai N pada table 5. diambil dari nilai rata-rata pada lapisan yang akan ditinjau.
Daya dukung ultimate :
Qult = Qus + Qub
Qa = Qult/n
Dimana :
Qult = Daya dukung batas (kg)
Qus = Daya dukung batas gesekan sepanjang tiang (kg)

Qub = Daya batas ujung tiang (kg)
n = Angka keamanan (n = 2)

**Daya dukung tiang menurut Poulos dan Davis**

Menurut H.G. Poulos dan E.H. Davis bahwa untuk mendapatkan daya dukung tiang dapat menggunakan rumus berdasarkan tiang pancang tunggal dan tiang pancang kelompok.

***Tiang pancang tunggal***
Daya dukung tiang pancang tunggal dapat diruuskan sebagai berikut :
$Pu = Psu + Pbu - W$
Dimana :
Pu = Daya dukung tiang pancang tunggal
Psu = Daya dukung habatan lekat
Pbu = Daya dukung ujung
W = Berat tiang pancang
$Psu = \int C\ (Ca + \sigma v.Ks.\tan\Phi a)\ dz$
Dimana :
C = Keliling tiang
L = Panjang tiang pancang
$Pbu = Ab\ [C.Nc + \sigma vb.Nq + 0.5\ \gamma d.N\gamma]$
Dimana :
Ab = Luas dasar pondasi tiang pancang
C = Kohesi tanah
$\sigma vb$ = Gaya vertical dari tanah
d = Diameter tiang pancang
$Nc, Nq, N\gamma$ = Faktor kapsitas daya dukung ujung, yang merupakan fungsi sudut geser dalam dari tanah, kompresi relative tanah dan geoetri tiang.
Menurut Poulos dan Davis dibedakan atas dua kondisi tanah yaitu :
*Tiang Pancang Pada Lempung*
Untuk tiang pancang pada lempung, dibedakan atas dua kondisi :
*Undrained load capacity*
Apabila tanah jenis (sautrated), maka $\Phi u = 0$, $\Phi a = 0$, $\Phi a = 0$, $Nq = 1$, $N\gamma = 0$, untuk $\Phi = 0$ sehingga persamaan daya dukung menjadi :
$Pu = \int C.Ca.dz + Ab(Cu.Nc + \sigma vb) - W$
Dimana :
Cu = Kohesi tanah pada dasar pondasi tiang
Ca = adhesi tiang tanah
Untuk tiang tanpa pelebaran dibawahnya maka persamaan diatas menjadi :
$Pu = \int C.Ca.dz + Ab.Cu.Nc$
*Drainaned loads capacity*
Pada kondisi ini adhesi tiang tanah Ca = 0, begitu pula factor kapasitas daya dukung ujung Nc dan $N\gamma$ dapat diabaikan, sehingga persamaan menjadi :
$Pu = \int C.\ \sigma v'.\ Ks \tan \Phi a'.dz + Ab.\sigma vb'.\ Nq - W$
Dimana :
$\sigma v'$ = Tekanan vertical efektif pada kedalaman z
$\sigma vb'$ = Tekanan vertical efektif pada dasar tiang pancang
$\Phi a'$ = Sudut geser dalam antara tiang dan tanah

***Tiang Pancang Pada Pasir***
Kondisi tiang pancang yang mempunyai ciri Ca = 0; C.Nc = 0; dan $0.5\ \gamma d.N\gamma$ sangat kecil, maka persamaan daya dukung tiang pancang :
$Pu = \int Fw.C.\ \sigma v'.\ Ks \tan \Phi'.dz + Ab.\sigma vb'.\ Nq - W$
Dimana :

σv' = Tekanan vertical efektif pada kedalaman z
σvb' = Tekanan vertical efektif pada dasar tiang pancang
Φ' = Sudut geser dalam antara tiang dan tanah (Φ' = 28 + 15.Dr)
Dr = Kerapatan relative (*Relative Density*)
Fw = Faktor koreksi

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisi struktur bangunan dengan software SAP 90 beban yang dipikul pondasi:
Momen max = 7.64 kN.m; Vmax = 538.3 kN; Hmax = 179.6 kN yang harus dipikul oleh 1 tiang bored pile berdiameter 50 cm. Mutu material yang digunakan : Beton (f'c = 40 Mpa), Besi beton (U = 24 Mpa).

**Kekuatan daya dukung pondasi tiang tunggal berdasarkan :**

***Kekuatan bahan;***
Ptiang = Atiang . σ'bahan
= 0.25 x 3.14 x 0.5 x 0.5 x 2,24
= 760,48 kN
***Daya Dukung Berdasarkan Data Sondir (CPT);***

**Tabel 6. Data Sondir (CPT)**

| Kedalaman (meter) | S (kg/cm) | S (kN/cm) | Kedalaman (meter) | S (kg/cm) | S (kN/cm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.00 – 9.00 | 2.5 | 0.025 | 15.40 | 80 | 0.80 |
| 10.00 | 8 | 0.08 | 15.60 | 70 | 0.70 |
| 11.00 | 5 | 0.05 | 15.80 | 65 | 0.65 |
| 12.00 | 10 | 0.10 | 16.00 | 60 | 0.60 |
| 13.00 | 25 | 0.25 | 16.20 | 68 | 0.68 |
| 13.60 | 35 | 0.35 | 16.40 | 65 | 0.65 |
| 13.80 | 20 | 0.20 | 16.60 | 70 | 0.70 |
| 14.00 | 50 | 0.50 | 16.80 | 80 | 0.80 |
| 14.20 | 45 | 0.45 | 17.00 | 85 | 0.85 |
| 14.40 | 70 | 0.70 | 17.20 | 87 | 0.87 |
| 14.60 | 60 | 0.60 | 17.40 | 90 | 0.90 |
| 14.80 | 90 | 0.90 | 17.60 | 110 | 1.10 |
| 15.00 | 100 | 1.00 | 17.80 | 145 | 1.45 |
| 15.20 | 90 | 0.90 | 18.00 | 150 | 1.50 |

Cn2 = 8S di atas alas pondasi = 4.00 m, maka berdasarkan table dimulai dari 12.00 m s/d 16.00 m.

$$Cn2 = \frac{S12.00 + S12.20 + S12.40 + \cdots + S16.00 + n.S16.00}{n\ x\ 2}$$

$$Cn2 = \frac{0.10 + 0.10 + 0.10 + \cdots + 0.60 + 21\ x\ 0.60}{21\ x\ 2}$$

$$Cn2 = 0.64\ kN$$

Cn1 = 4S di bawah alas pondasi = 2.00 m, maka berdasarkan table dimulai dari 16.00 m s/d 18.00 m.

$$Cn2 = \frac{S16.00 + S16.20 + S16.40 + \cdots + S18.00}{n}$$

$$Cn2 = \frac{0.60 + 0.68 + 0.65 + \cdots + 1.50}{7}$$

$$Cn2 = 0.92\ kN$$

$$CR = \frac{Cn1\ + Cn2}{2}$$

$$CR = \frac{0.64+0.92}{2} = 0.78\ kN$$

**Tabel 7. Gaya geser dinding tiang**

| Kedalaman (meter) | S (kg/cm) | S (kN/cm) | Kedalaman (meter) | S (kg/cm) | S (kN/cm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.00 – 5.00 | 25 | 0.25 | 11.00 | 100 | 1.00 |
| 6.00 | 50 | 0.50 | 12.00 | 125 | 1.25 |
| 7.00 | 50 | 0.50 | 13.00 | 180 | 1.80 |
| 8.00 | 70 | 0.70 | 14.00 | 240 | 2.40 |
| 9.00 | 70 | 0.70 | 15.00 | 300 | 3.00 |
| 10.00 | 100 | 1.00 | **16.00** | **500** | **5.00** |

Qa = p.A/3 + f. O/5
= 0.78 x 2000/3 + 0.45 x 5 x 157/5
= 590,65 kN

***Daya Dukung berdasarkan Data Boring ;***

**Tabel 8. Data Boring**

| | |
|---|---|
| **0.00 m – 0.50 m** | SM (pasir) γsat = 1970 kg/cm³<br>Φ = 21° |
| **0.50 m – 3.00 m** | CL (lempung) γsat = 1704 kg/cm³<br>Cu = 0.21 kg/ cm²<br>Φ = 0° |
| **3.00 m – 12.50 m** | CL (lempung) γsat = 1762 kg/cm³<br>Cu = 0.81 kg/ cm²<br>Φ = 0° |
| 12.50 m – **13,00 m** | SM (pasir) γsat = 1972 kg/cm³<br>Φ = 26° |
| **13.00 m – 15.60 m** | CL (lempung) γsat = 1758 kg/cm³<br>Cu = 0.23 kg/ cm²<br>Φ = 0° |
| **15.60 m – 16.00 m** | CL (lempung) γsat = 1814 kg/cm³<br>Cu = 0.20 kg/ cm²<br>Φ = 0° |

Untuk End Bearing Pile
Untuk $\Phi = 35^0$, D/B = 50. Maka Nq = 50 (lihat gambar 2)
Untuk $\Phi = 30^0$, D/B = 50. Maka Nq = 7 (lihat gambar 2)
Ko1 = (1- sinΦ)
Ko1 = (1- $\sin 35^0$)
Ko1 = 0.43
Ko2 = (1- sinΦ)
Ko2 = (1- $\sin 30^0$)
Ko2 = 0.50
Qbu1 = q'(Nq – 1) Ap (untuk lapisan 1 dan 4 tanah pasir)
Qbu1 = 17.36 x 0.5(50 – 1) 0.2
Qbu = 85.064 kN
Qbu2 = Su.Nc.Ap (untuk lapisan 2,3,5 dan 6 tanah lempung)
Qbu2 = 21 x 9 x 0.2
Qbu2 = 37.80 kN
Hasil analisis selanjutnya lihat pada table di bawah ini

**Tabel 9. Rekapitulasi *Friction Pile***

| No. | Nc | q' | Nq | Ap | Su | Qbu (kN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | - | 17.36 x 0.5 | 50 | 0.2 | - | 85.064 |
| 2 | 9 | - | - | 0.2 | 21 | 37.80 |
| 3 | 9 | - | - | 0.2 | 18 | 32.40 |
| 4 | - | 17.36 x 0.5 | 7 | 0.2 | - | 1442.20 |
| 5 | 9 | - | - | 0.2 | 23 | 41.40 |
| 6 | 9 | - | - | 0.2 | 20 | 36.00 |
| | | | **Jumlah** | | | **1674.864** |

Untuk Friction Pile
f1 = q'.K tan∂
f1 = 17.36 x 0.5 x 0.43 tan26$^0$.
f1 = 1.82 kN/m$^2$.
Qsu1 = f1.As
Qsu1 = 3.34 x 3,14 x 0.5 x 0.5
Qsu1 = 1.43 kN
f2 = ʎ(q' + 2Su)
f2 = 0.38(17.04 x 3 + 2 x 21)
f2 = 35.38 kN/ m$^2$.
Qsu2 = f2.As
Qsu1 = 35.38 x 3,4 x 0.5 x 2.5
Qsu1 = 138.87 kN
Hasil selanjutnya lihat pada table dibawah ini

**Tabel 10. Rekapitulasi Qsu**

| No. | ʎ | q' | K tan∂ | Su | AS | f(kN/ m$^2$) | Qsu (kN) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | - | 8.68 | 0.385 | - | 0.5 x 1.57 | 1.82 | 1.43 |
| 2 | 0.38 | 51.12 | - | 21 | 2.5 x 1.57 | 35.38 | 138.87 |
| 3 | 0.22 | 220.25 | - | 18 | 9.5 x 1.57 | 56.375 | 842.833 |
| 4 | - | 256.36 | 0.372 | - | 0.5 x 1.57 | 83.76 | 65.752 |
| 5 | 0.18 | 274.25 | - | 23 | 2.6 x 1.57 | 57.65 | 235.330 |
| 6 | 0.17 | 290.24 | - | 20 | 0.4 x 1.57 | 56.4 | 35.256 |
| | | | **Jumlah** | | | | **1317.471** |

Qult = Qbu + Qsu
Qult = 36 + 1317.471
Qult = 1353.471 kN
Qijin = Qult/2
Qijin = 1353.471/2 = 676.74 kN > 543 kN (OK)

***Daya Dukung Berdasarkan Data SPT;***

1. Mencari panjang ekivalen dari penetrasi tiang.
   a. Harga N pada ujung tiang, N1 = 22
   b. Nrata-rata pada jarak 4D dari ujung bawah tiang keatas, N2 = (26+27+22 + 30)/4 = 26.25
2. Daya dukung pada ujung karena tiang pancang dari beton yang ujungnya tertutup, maka dipakai garis tebal pada gambar 3.5.
   L/D = .2/0,5 = 4, maka diperoleh qd/N = 18
   Qd = 18N2 = 18 x 26.25 = 472.50 ton/m = 4725 kN/m
   Qd.A = 4725 x 0.25 x 3.14 x 0.5 x 0.5 = 945 kN
3. Gaya gesek aksimumm dinding tiang

**Tabel 11. Data Boring log**

| Kedalaman (meter) | Jumlah Pukulan (N) |
|---|---|
| 0.50 – 10.25 | 1 |
| 12.25 | 5 |
| 13.75 | 16 |
| 15.25 | 27 |
| 16.75 | 24 |

Pada kedalaman : (data boring log)
a. 16.00 meter, N = 22
b. 15.25 meter, N = 27
c. 14.88 meter, N = 26

d. 14.00 meter, N = 30

**Tabel. 12. Analisis Friction Pile**

| Kedalaman (m) | Ketebalan Li (m) | Lapisan | N | fi (t/m2) | fi.li (t/m) | fi.li (kN/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.0 – 0.50 | 0.5 | Pasir | 1 | 1 | 0.5 | 5 |
| 0.50 – 3.00 | 2.5 | Lempung | 1 | 1 | 2.5 | 25 |
| 3.00 – 12.50 | 9.5 | Lempung | 3.5 | 3.5 | 33.25 | 332.5 |
| 12.50 – 13.00 | 0.5 | Pasir | 10 | 2 | 1 | 10 |
| 13.00 – 15.60 | 2.6 | Lempung | 19.75 | 3.95 | 10.27 | 102.7 |
| 15.60 – 16.00 | 0.4 | Lempung | 23 | 4.6 | 1.84 | 560.3 |
| **Σ** | **16** | | | | **48.36** | **960.3** |

4. Daya dukung geser
   UΣLi.fi = 0,48 x 690,3 = 1083,8 kN
5. Daya dukun ultimit
   Qult = qd.A + U.ΣLi.fi = 945 + 1083.8 = 384,901 kN
   Qijin = Qult/3
   Qijin = 2028.8/3
   = 676.30 kN

***Daya Dukung Berdasarkan Poulos and David ;***

**Tabel 13. Lapisan tanah dan jenis tanah**

| | |
|---|---|
| 0.00 m – 0.50 m | SM (pasir) γsat = 1970 kg/cm² Φ = 21° |
| 0.50 m – 3.00 m | CL (lempung) γsat = 1704 kg/cm² Cu = 0.21 kg/ cm² Φ = 0° |
| 3.00 m – 12.50 m | CL (lempung) γsat = 1762 kg/cm² Cu = 0.81 kg/ cm² Φ = 0° |
| 12.50 m – 13,00 m | SM (pasir) γsat = 1972 kg/cm² Φ = 26° |
| 13.00 m – 15.60 m | CL (lempung) γsat = 1758 kg/cm² Cu = 0.23 kg/ cm² Φ = 0° |
| 15.60 m – 16.00 m | CL (lempung) γsat = 1814 kg/cm² Cu = 0.20 kg/ cm² Φ = 0° |

Untuk $\Phi^0 = 35^0$ Berdasarkan gambar 4.2b maka diperoleh Ks $\tan\Phi^0 = 0.5$, kemudian lihat gambar 4.1 maka Nq = 75. Lihat gambar 4.2a diperoleh Zc/d = 6.5, maka Zc = 3.25 meter.
Untuk $\Phi^0 = 30^0$Berdasarkan gambar 4.2b maka diperoleh Ks $\tan\Phi^0 = 0.10$, kemudian gambar 4.1 maka Nq = 32.5, Lihat gambar 4.2a diperoleh Zc/d = 5.5, maka Zc = 2.75 meter. Untuk ukuran tiang yang seragam maka Fω = 1. Berdasarkan gambar 4.3 menurut Tomlinson untuk ;

1. Cu = 21 kN/m$^2$ ----- Ca/Cu = 1.25, jadi Ca = 26.25 kN/m$^2$
2. Cu = 18 kN/m$^2$ ----- Ca/Cu = 1.25, jadi Ca = 22.50 kN/m$^2$
3. Cu = 23 kN/m$^2$ ----- Ca/Cu = 1.00, jadi Ca = 23.00 kN/m$^2$
4. Cu = 20 kN/m$^2$ ----- Ca/Cu = 1.25, jadi Ca = 25.00 kN/m$^2$

Untuk Lapisan :

1. Pu = ∫Fω.C.σ'v Ks tanΦa dz + Ab. σ'v.Nq – W
   Pu = ∫1 x 1.57 x (17.36 x 0.5) x 1.36 x dz + 0.2 x 7.36 x 0.5 x 75 – W
   Pu = 1 x 1.57 x (17.36 x 0.5) x 1.36 x 0.5 + 0.2 x 7.36 x 0.5 x 75 – W
   Pu = 133.61 - W
2. Pu = ∫ C.Ca. dz + Ab (Cu.Nc +. σ'bv) – W
   Pu = ∫ 1.57 x 26.25 x dz + 0.2 {21 x 9 +. (17.04 - 10) x 3} – W

Pu = 1.57 x 26.25 x 2.5 + 0.2 {21 x 9 +. (17.04 - 10) x 3} – W
Pu = 145.05 – W
Hasil selanjutnya lihat table

**Tabel 14. Persmaan friction dundung tiang pancang**

| Lapian tanah | Bentuk persamaan |
|---|---|
| Lapisan 1 (Pasir) | Pu = 133.61 - W |
| Lapisan 2 (Lempung) | Pu = 145.05 – W |
| Lapisan 3 (Lempung) | Pu = 387.05 – W |
| Lapisan 4 (Pasir) | Pu = 835.36– W |
| Lapisan 5 (Lempung) | Pu = 158.94– W |
| Lapisan 6 (Lempung) | Pu = 77.75– W |
| W = 0.25 x 3.14 x 0.5 x 0.5 x 24 x 16 = 75.36 Kn | Pu total = (33.61 + 145.05 + 387.05 + 835.36 + 158.94 + 77.75) – 75.36 = 1662 kN |

Pijin = Pu total/2 = 1662/2 = 831 kN > 538.30 kN (OK!)

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa: Dimensi tiang bored pile tunggal dengan penampang bulat diameter 50 cm untuk meimkul beban dari struktur atas gedung sebesar 538.30 kN. Maka hasil analisis metode CPT memperoleh daya dukung sebesar 590,65 kN pertiang, metode SPT daya dukung sebesar 676,3 kN pertiang, Metode Paulos dan Davis untuk tiang tunggal daya dukung sebesar 831 kN per tiang. Karena hasil analisis daya dukung berkisar dari 590.65 – 831.00 kN > 538.30 kN maka daya dukung pondasi aman. Maka pondasi bored pile tiang tunggal juga layak untuk memikul beban layan yang diberikan sebesar 538.30 kN.

## DAFTAR PUSTAKA


Anonimus. (1997), Rekayasa Fundasi II “Fundasi Dangkal dan Fundasi Dalam”. Jakarta : Gramedia.

Bowles, J. E. (1977), *Foundation Analysis and Design*. 2nd ed. New York : McGraw Hill

Bowles, J. E. (1984), Analisa dan Desain Pondasi Jilid 2. Terjemahan oleh Pantur Lilaban. Jakarta : Erlangga

Bowles, J. E. (1989), Sifat-sifat fisik dan geoteknis tanah dan mekanika tanah. Edisi kedua. Jakarta : Erlangga

Gow Tjie Liong. April (1997). Kendala Aplikasi Perencanaan Daya dukung tiang. Majalah Konstruksi (pp. 41-42) Jakarta.

Poulos, H.G. and Davis, E.H. (1980). *Pile Foundation Analisys and Design*. New York : McGraw Hill

Sardjono, HS. (1991). Pondasi Tiang Pancang Jilid 1 dan Jilid 2. Sinar Wijaya. Surabaya.

Suyono Sastrodarsono dan Kazuto Nakazawa, (1984). Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi. Cetakan ketiga. Jakarta : Pradnya Paramita.

Taylor, D.W.. (1972). *Foundation of Soil Mechanics*. Tokyo : Jhon Wiley and Sons.

Tomlison, MJ. (1997). *Pile Design and Contruction Practice*. The Garden City Press.

Wayne, C. Teng. (1981). *Foundation Design*. New Delhi. Practice Hall of India private Limited.

Wora, M. (1998). Studi Perbandingan Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Beton dan Bored Pile pada Proyek Rumah Sakit Internasional Surabaya. Skripsi S-1. Universitas Widya Kartika Surabaya.

Wora, M. (2013). Studi Evaluasi Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Beton pada Proyek Pembangunan Gedung Rumah Sakit Internasional Surabaya. Jurnal Teknosiar, Vol. 2 Oktober 2013 p: 44-55