

Studi Evaluasi Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Beton Pada Proyek Pembangunan Gedung Rumah Sakit Internasional Surabaya

*)Mikael Wora¹

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Flores, Ende

*)Correspondence e-mail : ata_kelisoke@yahoo.ac.id

ABSTRAK

Paper ini menyajikan tentang besar daya dukung pondasi tiang pancang beton, pondasi tiang pancang beton adalah jenis pondasi dalam yang berfungsi untuk memikul beban yang disalurkan dari struktur atas bangunan gedung Rumah Sakit Internasional Surabaya kedalam tanah. Tujuan studi untuk mengetahui besar daya dukung pondasi tiang pancang beton yang digunakan sesuai kondisi tanah yang berada dibawah bangunan sebagai pijakan, agar bangunan tersebut tetap nyaman. Metode analisis yang digunakan antara lain : Metode Cone Penetrasi Tes (CPT) dan Standart Penetrasi Test (SPT) adalah data hasil penyelidikan dilapangan serta Paulos dan Davis adalah rumus empiris. Hasil analisis metode CPT memperoleh daya dukung sebesar 161,45 kN, metode SPT daya dukung sebesar 128,3 kN, Metode Paulos dan Davis untuk tiang tunggal daya dukung sebesar 108,34 kN dan tiang kelompok daya dukung sebesar 965,42 kN. Hasil analisi menyimpulkan bahwa pondasi tiang pancang beton digunakan karena dapat memikul beban lahan yang diberikan.

Kata Kunci: Tiang pancang, Daya dukung, CPT, SPT, Paulos dan Davis,

PENDAHULUAN

Artikel ini merupakan ringkasan sepertiga bagian isi dari skripsi penulis dengan judul “studi perbandingan perencanaan pondasi tiang pancang beton dan bored pile pada proyek Rumah Sakit Internasional Surabaya”. Hal ini dilakukan karena permasalahan yang diangkat penulis saat itu ada 3 permasalahan yaitu pondasi tiang pancang beton, pondasi bored pile dan estimasi biaya dari jenis pondasi tiang pancang beton dan bored pile.

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 mempertimbangkan 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 berkoheasinya 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 tiang pancang beton aman dalam memikul beban struktur bangunan atas.

LANDASAN TEORI

Pondasi Tiang Pancang

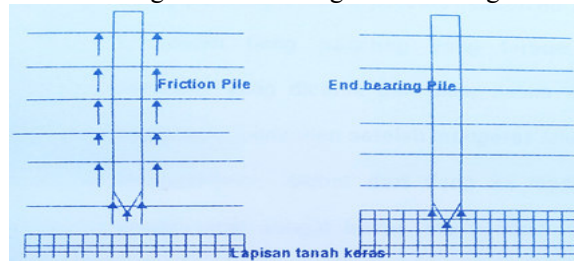
Pondasi tiang pancang adalah bagian dari struktur yang digunakan untuk menerima dan menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah penunjang yang terletak pada kedalaman tertentu. Tiang pancang bentuknya panjang dan langsing yang menyalurkan beban ke tanah yang lebih dalam. Tiang pancang adalah bagian – 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 kedalam > 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 diklasifikasikan 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.

Pondasi Tiang Pancang Beton

Penentuan ukuran tiang

Berdasarkan kondisi tanah dan kondisi pembebanan, maka dapat ditentukan ukuran dari tiang pancang beton yang dibutuhkan. Untuk mencegah ketentuan yang berlebihan pada saat pengangkatan 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 :

$$P_{\text{tiang}} = \sigma_{\text{bahan}} \times A_{\text{tiang}}$$

Dimana :

P_{tiang} = Kekuatan yang diijinkan pada tiang pancang (kg)

σ_{bahan} = Tegangan ijin bahan tiang (kg/cm^2)

A_{tiang} = Luas penampang tiang (cm^2)

Daya dukung tiang pancang tunggal berdasarkan data sondir (CPT).

$$Q_a = \frac{p \cdot A}{3} + \frac{O \cdot f}{5}$$

Dimana :

Q_a = Daya dukung tanah ijin (kg)

p = Tekanan penetrasi konus

f = Jumlah hambatan pelekak (kg/cm)

A = Luas penampang tiang (cm^2)

O = keliling tiang (cm)

Daya Dukung Tiang Pancang 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, umumnya terdiri dari dua bagian yaitu : daya dukung akibat gesekan dan daya dukung ujung (dasar) tiang. Dengan formulasinya sebagai berikut :

$$Q_{ult} = Q_{su} + Q_{bu}$$

Dimana :

Q_{ult} = Daya dukung batas (*ultimate*) tiang

Q_{su} = Daya dukung batas gesekan sepanjang badan tiang

Q_{bu} = Daya dukung batas ujung tiang

Pada perhitungan daya dukung ujung, formulasinya dibedakan antara tanah lempung dan tanah pasir.

Untuk tanah lempung

Pada tanah lempung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{bu} = S_u \cdot N_c \cdot A_p$$

Dimana :

S_u = kohesi atau kuat geser

N_c = Faktor daya dukung yang besarnya diambil 9

A_p = Luas penampang dasar (ujung) tiang

Untuk tanah pasir

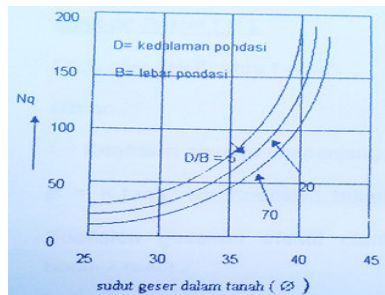
Pada tanah pasir menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{bu} = q' (N_q - 1) A_p$$

Dimana :

q' = Efektif tanah pada ujung tiang

N_q = Faktor daya dukung yang merupakan fungsi sudut geser tanah Φ (gambar 2)



Gambar 2. Nilai N_q 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 :

$$Q_{su} = f \cdot A_s$$

Dimana :

f = Koefisien gesekan sepanjang badan tiang

A_s = Luas badan tiang

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

Metode Betha (β)

$$f = K \cdot q' \cdot \tan \delta \text{ atau } f = \beta q'$$

Dimana :

f = Koefisien gesekan sepanjang badan tiang

$$\beta = K \cdot \tan \delta$$

K = Koefisien tekanan tanah lateral

$\tan \delta$ = Koefisien gesekan efektif diantara tiang pancang dan tanah ($\tan \Phi$)

Metode Lambda (λ)

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

$$f = \lambda (q' + 2 Su)$$

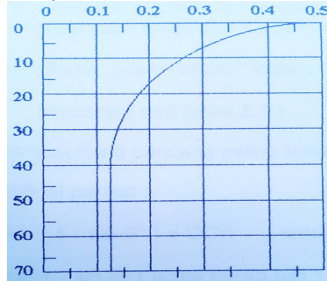
Dimana :

f = Koefisien gesek sepanjang badan tiang

q' = Tegangan vertical efektif

Su = Kohesi atau kuat geser tak alit

λ = koefisien yang diperoleh dari (gambar 3)



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

Metode Alpha (α)

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

$$f = \alpha c + q' K \tan \Phi$$

Dimana :

α = Koefisien dari gambar 3.4 atau table 3.6

c = kohesi rata-rata (Su)

q' = Tegangan vertical efektif

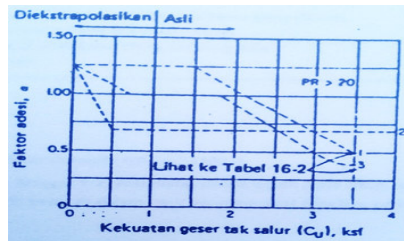
K = Koefisien tekanan tanah lateral K_0 sampai kira-kira 1,75

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

K_0 untuk tiang pancang lazi dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$K_0 = (1 - \sin \Phi') \sqrt{OCR} \text{ (untuk tiang pancang)}$$

$$K_0 = 1 - \sin \Phi' \text{ (untuk bored pile)}$$



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

Tabel 2. Nilai-nilai *factor adhesi*

Kelas	Kondisi tanah	Perbandingan Penetrasi : asli, a	Faktor
1	Pasir atau kerikil berpasir yang terletak di atas tanah kohesif mulai dari yang kaku sampai dengan yang sangat kaku	< 20 > 20	1,25 Gambar 16-11 a
2	Lempung lembek atas lumpur yang terletak di atas tanah kohesif mulai dari yang kaku sampai dengan yang sangat kaku	$8 < PR \leq 20$ > 20	0,40 Gambar 16-11 a
3	Tanah-tanah kohesif mulai dari yang kaku sampai dengan yang sangat kaku tanpa strata yang terletak diatasnya	$8 < PR \leq 20$ > 20	0,40 Gambar 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 δ antara beberapa bahan pondasi dengan tanah atau batuan

Bahan-bahan yang mempunyai permukaan antara (Interface)	Sudut gesekan δ , derajat
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 residu 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 dilatih dengan baik dan yang dilatih dengan batu serpih	22
Pasir bersih, campuran kerikil pasir yang mengendap, batuan keras isian 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 dilatih dan diisi dengan batu serpih	22-26
Pasir bersih, campuran pasir kerikil yang mengendap, batuan keras yang berukuran semcam	17-22
Pasir endapan, kerikil atau pasir yang bercampur dengan endapan atau tanah liat	17
Endapan pasir halus, endapan tak bersifat plastik	14
Berbagai bahan bangunan :	
Batuan pada batuan, batu api atau batu metamorf	35
Batuan berakut yang dilatih pada batuan berakut yang dilatih	33
Batuan keras yang dilatih pada batuan halus yang dilatih	30
Batuan keras yang dilatih pada batuan keras yang dilatih	26
Batu bangunan pada kayu (tumpukan berakut)	17
Baja pada baja di titik temu tiang pancang baja	14-16
Kayu pada tanah	g

Sumber : Bowles, 1984 : 30)

Tabel 4. Nilai K dan δ

Pile material	δ	Value of $\bar{K}_s$	
		Low relative density	High relative density
Steel	20°	0.5	1.0
Concrete	$\frac{2}{3}\phi$	1.0	2.0
Wood	$\frac{1}{3}\phi$	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 tahanan lekat.

Tahanan Ujung

Menurut Menyerhorf (Bowles, 1977 : 535) besarnya daya dukung batas dapat dihitung dengan rumus berikut ini :

$$Q_{ub} = 8.N.A_b$$

Dimana :

N = Nilai SPT ujung tiang

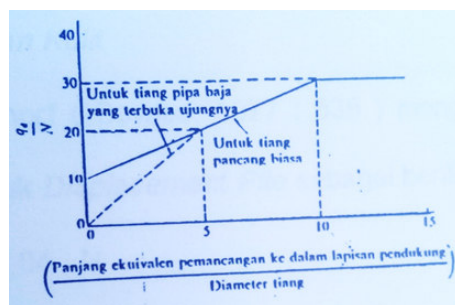
A_b = Luas ujung tiang

Perkiraan daya dukung ujung tiang dapat diperoleh dari Suryono Sostrodarsono (1981 : 100) sebagai berikut :

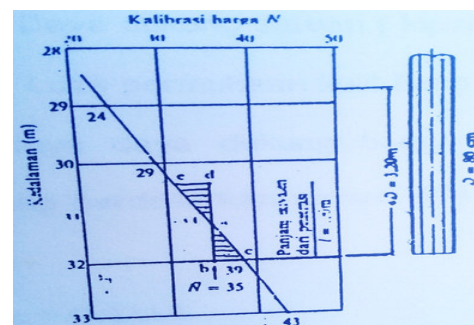
$$Q_{ub} = q_d.A_b$$

Nilai q_d dapat diperoleh dari hubungan antara L/D dan q_d/N pada gambar 5. Sedangkan untuk mendapatkan harga L (panjang ekuivalen 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 q_d/N dan L/D**

(Sumber : Suyono Sostrodarsono, 1981; 101)

**Gambar 6. kalibrasi harga N**

(Sumber : Suyono Sostrodarsono, 1981)

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

Tahanan Kulit

Besar daya dukung tiang lekat dapat juga dihitung berdasarkan rumus dibawah ini (Suyono S. 1981 : 100)

$$Q_{us} = U \cdot \sum L_i \cdot f_i$$

Dimana :

Q_{us} = Tahanan kulit batas (ton)

U = Panjang keliling tiang (m)

L_i = Tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang (m)

f_i = Besarnya gaya geser maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang (ton/m²)

Besarnya f_i tergantung pada jenis tanah pondasi dan jenis tiang.

Tabel 5. Intensitas gaya geser dinding tiang

(Satuan: t/m ²)		
Jenis tanah pondasi \ Jenis tiang	Tiang pracetak	Tiang yang dicor di tempat
Tanah berpasir	$\frac{N}{5} (\leq 10)$	$\frac{N}{2} (\leq 12)$
Tanah kohesif	c atau $\frac{N}{2} (\leq 12)$	$\frac{c}{2}$ atau $\frac{N}{2} (\leq 12)$

Sumber : Suyono Sostrodarsono, 1981 : 102)

Nilai N pada table 5. diambil dari nilai rata-rata pada lapisan yang akan ditinjau.

Daya dukung ultimate :

$$Q_{ult} = Q_{us} + Q_{ub}$$

$$Q_a = Q_{ult}/n$$

Dimana :

Q_{ult} = Daya dukung batas (kg)

Q_{us} = Daya dukung batas gesekan sepanjang tiang (kg)

Q_{ub} = Daya batas ujung tiang (kg)

n = Angka keamanan ($n = 3$)

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 :

$$P_u = P_{su} + P_{bu} - W$$

Dimana :

P_u = Daya dukung tiang pancang tunggal

P_{su} = Daya dukung habatan lekat

P_{bu} = Daya dukung ujung

W = Berat tiang pancang

$$P_{su} = \int C (C_a + \sigma_v \cdot K_s \cdot \tan \Phi_a) dz$$

Dimana :

C = Keliling tiang

L = Panjang tiang pancang

$$P_{bu} = A_b [C \cdot N_c + \sigma_{vb} \cdot N_q + 0.5 \gamma_d \cdot N_\gamma]$$

Dimana :

A_b = Luas dasar pondasi tiang pancang

C = Kohesi tanah

Rumus empiris Efisiensi kelompok (η)

$$\eta = \sqrt{1 + \frac{n^2 \cdot p^2}{pb^2}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis 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 6 buah pondasi tiang pancang dalam satu grup. Penampang segitiga sama sisi sebesar 28 cm.

Kekuatan daya dukung pondasi tunggal berdasarkan :

Kekuatan bahan;

Ptiang = Atiang . σ' bahan

$$= 0.5 \times 28 \times 24.25 \times 2,24$$

$$= 760,48 \text{ kN}$$

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 = 2.24 m, maka berdasarkan table dimulai dari 13.76 m s/d 16.00 m.

$$Cn2 = \frac{S13.60 + S13.80 + S14.00 + \dots + S16.00 + n \cdot S16.00}{n \times 2}$$

$$Cn2 = \frac{0.35 + 0.40 + 0.50 + \dots + 0.60 + 13 \times 0.60}{13 \times 2} = 0.63 \text{ kN}$$

Cn1 = 4S di bawah alas pondasi = 1.12 m, maka berdasarkan table dimulai dari 16.00 m s/d 17.12 m.

$$Cn2 = \frac{S16.00 + S16.20 + S16.40 + \dots + S17.20}{n}$$

$$Cn2 = \frac{0.60 + 0.68 + 0.65 + \dots + 0.87}{7} = 0.74 \text{ kN}$$

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

$$CR = \frac{0.74 + 0.63}{2} = 0.685 \text{ kN}$$

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

Karena CR = p = 0.685 kN

$$Qa = p \cdot A/3 + f \cdot O/5$$

$$= 0.685 \times 339.5/3 + 5 \times 84/5$$

$$= 161,52 \text{ kN}$$

Daya Dukung berdasarkan Data Boring :

Tabel 8. Data Boring

0.00 m 0.50 m	SM (pasir) $\gamma_{sat} = 1970 \text{ kg/cm}^3$ $\phi = 21^\circ$
0.50 m 3.00 m	CL (lempung) $\gamma_{sat} = 1704 \text{ kg/cm}^3$ $C_u = 0.21 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 0^\circ$
3.00 m 12.50 m	CL (lempung) $\gamma_{sat} = 1762 \text{ kg/cm}^3$ $C_u = 0.81 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 0^\circ$
12.50 m 13.00 m	SM (pasir) $\gamma_{sat} = 1972 \text{ kg/cm}^3$ $\phi = 26^\circ$
13.00 m 15.60 m	CL (lempung) $\gamma_{sat} = 1758 \text{ kg/cm}^3$ $C_u = 0.23 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 0^\circ$
15.60 m 16.00 m	CL (lempung) $\gamma_{sat} = 1814 \text{ kg/cm}^3$ $C_u = 0.20 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 0^\circ$

Untuk End Bearing Pile

Untuk $\Phi = 35^\circ$, D/B = 50. Maka $N_q = 50$ (lihat gambar 2.)

Untuk $\Phi = 30^\circ$, D/B = 50. Maka $N_q = 7$ (lihat gambar 2.)

$$K_{o1} = (1 - \sin \Phi) \cdot \sqrt[3]{(OCR)}$$

$$K_{o1} = (1 - \sin 35^\circ) \cdot \sqrt[3]{3.4}$$

$$K_{o1} = 0.79$$

$$K_{o2} = (1 - \sin \Phi) \cdot \sqrt[3]{(OCR)}$$

$$K_{o2} = (1 - \sin 30^\circ) \cdot \sqrt[3]{3.4}$$

$$K_{o2} = 0.92$$

$Q_{bu1} = q'(N_q - 1) A_p$ (untuk lapisan 1 dan 4 tanah pasir)

$$Q_{bu1} = 17.36 \times 0.5(50 - 1) 0.03395$$

$$Q_{bu1} = 14.44 \text{ kN}$$

$Q_{bu2} = Su \cdot N_c \cdot A_p$ (untuk lapisan 2,3,5 dan 6 tanah lempung)

$$Q_{bu2} = 21 \times 9 \times 0.3395$$

$$Q_{bu2} = 6.42 \text{ kN}$$

Hasil analisis selanjutnya lihat pada table 9. di bawah ini

Tabel 9. Rekapitulasi Friction Pile

No.	Nc	q'	N_q	A_p	Su	$Q_{bu} \text{ (kN)}$
1	-	17.36×0.5	-	0.03395	-	14.44
2	9	-	9	0.03395	21	6.42
3	9	-	9	0.03395	18	5.5
4	-	17.36×0.5	-	0.03395	-	52.30
5	9	-	9	0.03395	23	7.03
6	9	-	9	0.03395	20	6.1
Jumlah						9.8

Untuk Friction Pile

$$f_1 = q' \cdot K \tan \phi$$

$$f_1 = 17.36 \times 0.5 \times 0.79 \tan 26^\circ$$

$$f_1 = 3.34 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{su1} = f_1 \cdot A_s$$

$$Q_{su1} = 3.34 \times 0.28 \times 0.5$$

$$Q_{su1} = 0.47 \text{ kN}$$

$$f_2 = \lambda(q' + 2Su)$$

$$f_2 = 0.38(17.04 \times 3 + 2 \times 21)$$

$$f_2 = 35.38 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{su2} = f_2 \cdot A_s$$

$$Q_{su1} = 35.38 \times 0.28 \times 2.5$$

$$Q_{su1} = 24.77 \text{ kN}$$

Hasil selanjutnya lihat pada table dibawah ini

Tabel 10. Rekapitulasi Qsu

No.	λ	q'	$K \tan \phi$	S_u	AS	$f(kN/m^2)$	$Q_{su} (kN)$
1	-	8.68	0.385	-	0.5×0.28	3.34	0.47
2	0.38	51.12	-	21	2.5×0.28	35.38	24.77
3	0.22	220.25	-	18	9.5×0.28	56.375	149.96
4	-	256.36	0.372	-	0.5×0.28	83.76	11.73
5	0.18	274.25	-	23	2.6×0.28	57.65	41.97
6	0.17	290.24	-	20	0.4×0.28	56.4	6.29
Jumlah							235.19

$$Q_{ult} = Q_{bu} + Q_{su}$$

$$Q_{ult} = 6.29 + 235.19$$

$$Q_{ult} = 241 \text{ kN}$$

$$Q_{ijin} = Q_{ult}/2$$

$$Q_{ijin} = 241/2 = 120.74 \text{ kN}$$

Daya Dukung Berdasarkan Data SPT:

- Mencari panjang ekuivalen dari penetrasi tiang.
 - Harga N pada ujung tiang, $N_1 = 22$
 - Nrata-rata pada jarak 4D dari ujung bawah tiang keatas, $N_2 = (26+27+22)/3 = 25$
- Daya dukung pada ujung karena tiang pancang dari beton yang ujungnya tertutup, maka dipakai garis tebal pada gambar 3.5.
 $L/D = .12/0.28 = 4$, maka diperoleh $q_d/N = 18$
 $Q_d = 18N_2 = 18 \times 25 = 450 \text{ ton/m} = 4500 \text{ kN/m}$
 $Q_d.A = 4500 \times 0.5 \times 0.28 \times 0.2425$
- Gaya gesek aksimum 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)

- 16.00 meter, $N = 22$
- 15.25 meter, $N = 27$
- 14.88 meter, $N = 26$

Tabel. 12. Analisis Friction Pile

Kedalaman (m)	Ketebalan Li (m)	Lapisan	N	f_i (t/m ²)	$f_i.li$ (t/m)	$f_i.li$ (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	18.4
Σ	16				48.36	483.6

- Daya dukung geser

$$U \Sigma Li.f_i = 0.48 \times 483.6 = 232,126 \text{ kN}$$

- Daya dukun ultimit

$$Q_{ult} = q_d.A + U.\Sigma L_i.f_i = 152.775 + 232.126 = 384,901 \text{ kN}$$

$$Q_{ijin} = Q_{ult}/3$$

$$Q_{ijin} = 384.901/3 = 128.30 \text{ kN}$$

Daya Dukung Berdasarkan Poulos and David ;

Tabel 13. Lapisan tanah dan jenis tanah

0.00 m 0.50 m	SM (pasir) $\gamma_{sat} = 1970 \text{ kg/cm}^3$ $\phi = 21^\circ$
0.50 m 3.00 m	CL (lempung) $\gamma_{sat} = 1704 \text{ kg/cm}^3$ $C_u = 0.21 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 0^\circ$
3.00 m 12.50 m	CL (lempung) $\gamma_{sat} = 1762 \text{ kg/cm}^3$ $C_u = 0.81 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 0^\circ$
12.50 m 13.00 m	SM (pasir) $\gamma_{sat} = 1972 \text{ kg/cm}^3$ $\phi = 26^\circ$
13.00 m 15.60 m	CL (lempung) $\gamma_{sat} = 1758 \text{ kg/cm}^3$ $C_u = 0.23 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 0^\circ$
15.60 m 16.00 m	CL (lempung) $\gamma_{sat} = 1814 \text{ kg/cm}^3$ $C_u = 0.20 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 0^\circ$

Untuk $\Phi^0 = 35^\circ$ Berdasarkan gambar 4.2b maka diperoleh $K_s \tan \Phi^0 = 1.35$, kemudian lihat gambar 4.2a diperoleh $Z_c/d = 6.5$, maka $Z_c = 1.82$ meter.

Untuk $\Phi^0 = 30^\circ$ Berdasarkan gambar 4.2b maka diperoleh $K_s \tan \Phi^0 = 1.15$, kemudian lihat gambar 4.2a diperoleh $Z_c/d = 5.5$, maka $Z_c = 1.54$ meter. Untuk ukuran tiang yang seragam maka $F_w = 1$. Berdasarkan gambar 4.3 menurut Tomlinson untuk ;

1. $C_u = 21 \text{ kN/m}^2$ ----- $C_a/C_u = 1.25$, jadi $C_a = 26.25 \text{ kN/m}^2$
2. $C_u = 18 \text{ kN/m}^2$ ----- $C_a/C_u = 1.25$, jadi $C_a = 22.50 \text{ kN/m}^2$
3. $C_u = 23 \text{ kN/m}^2$ ----- $C_a/C_u = 1.00$, jadi $C_a = 23.00 \text{ kN/m}^2$
4. $C_u = 20 \text{ kN/m}^2$ ----- $C_a/C_u = 1.25$, jadi $C_a = 25.00 \text{ kN/m}^2$

Untuk Lapisan :

1. $P_u = \int F_w.C.\sigma'v K_s \tan \Phi_a dz + A_b.\sigma'v.N_q - W$
 $P_u = \int 1 \times 0.48 \times (17.36 \times 0.5) \times 1.36 \times dz + 0.03395 \times 7.36 \times 0.5 \times 75 - W$
 $P_u = 1 \times 0.48 \times (17.36 \times 0.5) \times 1.36 \times 0.5 + 0.03395 \times 7.36 \times 0.5 \times 75 - W$
 $P_u = 24.91 - W$
2. $P_u = \int C.C_a. dz + A_b (C_u.N_c + \sigma'bv) - W$
 $P_u = \int 0.48 \times 26.25 \times dz + 0.03395 \{21 \times 9 + (17.04 - 10) \times 2.5\} - W$
 $P_u = 0.48 \times 26.25 \times 2.5 + 0.03395 \{21 \times 9 + (17.04 - 10) \times 2.5\} - W$
 $P_u = 38.51 - W$

Hasil selanjutnya lihat table

Tabel 14. Persmaan friction dundung tiang pancang

Lapian tanah	Bentuk persamaan
Lapisan 1 (Pasir)	$P_u = 24.91 - W$
Lapisan 2 (Lempung)	$P_u = 38.51 - W$
Lapisan 3 (Lempung)	$P_u = 110.56 - W$
Lapisan 4 (Pasir)	$P_u = 6.78 - W$
Lapisan 5 (Lempung)	$P_u = 36.40 - W$
Lapisan 6 (Lempung)	$P_u = 12.55 - W$
$W = 0.5 \times 0.28 \times 0.2425 \times 24 \times 16 = 13.04 \text{ Kn}$	$P_u \text{ total} = (24.91 + 38.51 + 110.56 + 6.78 + 36.40 + 2.55) - 13.04 = 126.67 \text{ kN}$

$$P_{ijin} = P_u \text{ total}/2 = 126.67/2 = 108.34 \text{ kN} > 90.50 \text{ kN (OK!)}$$

Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok menurut Poulos dan Davis.

$$7.5/9 = 0.83$$

$$0.85 = (0.84 + 0.6 \times Br/Lr)$$

$$0.85 = (0.84 + 0.16 \times 0.28/Lr)$$

$$Lr = 3.84 \text{ m}$$

Maka diperoleh :

$Br = 0.28 \text{ m}$, $Lr = 3.84 \text{ m}$, $Cu = 20 \text{ kN/m}^2$, $Cu' = 20.5 \text{ kN/m}^2$

$Pb = Br \times Lr \times C \times Nc + 2(Br + Lr) L.Cu'$

$= 0.26 \times 3.84 \times 20 \times 9 + 2(0.28 + 3.84) \times 16 \times 20.5$

$= 2,896.256 \text{ kN}$

$Pijin = Pb/3 = 2,896.256/3 = 965.42 \text{ kN}$

Jadi daya dukung pondasi tiang pancang beton yang diterima sebesar $965.42 \text{ kN} > 538.30 \text{ kN}$, sehingga pondasi dinyatakan aman.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa: Dengan dimensi tiang pancang beton penampang segitiga sama sisi 28 cm berjumlah 6 buah dalam satu grup untuk meimkul beban dari struktur atas gedung sebesar 538.30 kN, untuk satu tiang harus memikul beban sebesar 90.50 kN. Maka hasil analisis metode CPT memperoleh daya dukung sebesar 161,45 kN pertiang, metode SPT daya dukung sebesar 128,3 kN pertiang, Metode Paulos dan Davis untuk tiang tunggal daya dukung sebesar 108,34 kN per tiang dan tiang kelompok daya dukung sebesar 965,42 kN. Karena $965.42 \text{ kN} > 538.30 \text{ kN}$ maka daya dukung pondasi aman. Maka pondasi tiang pancang beton digunakan dapat memikul beban layan yang diberikan.

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). Majalah Konstruksi (pp. 41-42) “Kendala Aplikasi Perencanaan Daya dukung tiang. Jakarta.
- Poulos, H.G. and Davis, E.H. (1980). *Pile Foundation Analisis 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.