

ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN TIANG PANCANG KELOMPOK PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG DPRD KOTA PALANGKA RAYA

Mohammad Toha Wismantarajarjo

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya, e-mail: toha.wismantara@gmail.com

Suradji Gandi

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya, e-mail: suradjigandi_ir@jts.upr.ac.id

Fatma Sarie

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya, e-mail: fatmasarie@jts.upr.ac.id

Abstract: *Office building construction usually uses pile foundation to overcome the low soil bearing capacity and the settlement that occurs. Therefore, it is very necessary to analyze the carrying capacity and the decline in the foundation of the group piles in the Palangka Raya City DPRD building construction project to determine the bearing capacity and the settlement is still within safe limits. The method used for calculating the bearing capacity of a single pile uses the Aoki and De Alencar Method, the Direct Method and the Philipponant Method. The efficiency of group piles using the Converse-Labare method. The method used to determine the amount of decline that occurs using the Poulos and Davis methods. Analysis was performed at two points H-3 and H-6. The results obtained are the bearing capacity of the largest single pile for points H-3 and H-6 using the direct method, with a bearing capacity of 72,164 tons at point H-3 and 50,491 tons at point H-6. Bearing capacity of group piles is 245, 646 tons at point H-3 and 171,871 tons at point H-6. Building load resulting at point H-3, a load held at 28.57 tons and at point H-6 is 11.87 tons. A settlement in a single pile at point H-3 of 3.2 mm <25 mm means safe and a settlement in a single pile at point H-6 of 1.7688 mm <25 mm means safe. The decline in group piles at point H-3 is 8.92 mm <25 mm means it is safe to settlement and the settlement of group piles that occurs at point H-6 is 6.78 mm <25 mm which means safe.*

Keywords: *Bearing Capacity, Settlement, Pile, CPT.*

Abstrak: Pembangunan gedung perkantoran menggunakan pondasi tiang pancang bertujuan untuk mengatasi daya dukung tanah yang rendah dan penurunan bangunan yang terjadi. Salah satu bangunan yang menggunakan tiang pancang kelompok adalah pada proyek pembangunan gedung DPRD Kota Palangka Raya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung tiang pancang dan penurunan masih dalam batas aman. Metode yang digunakan untuk perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal adalah metode Aoki dan De Alencar, metode langsung dan metode Philipponant. Perhitungan efisiensi tiang pancang kelompok menggunakan metode Converse-Labare. Perkiraan besarnya penurunan yang terjadi menggunakan metode Poulos dan Davis. Analisis dilakukan pada dua titik H-3 dan H-6. Hasil yang didapat besar daya dukung tiang pancang tunggal terbesar untuk titik H-3 dan H-6 menggunakan metode langsung, dengan besar daya dukung 72,164 ton pada titik H-3 dan 50,491 ton pada titik H-6. Daya dukung tiang pancang kelompok didapat 245, 646 ton pada titik H-3 dan 171,871 ton pada titik H-6. Beban bangunan pada titik H-3 beban yang ditahan 28,57 Ton dan pada titik H-6 11,87 Ton. Penurunan tiang pancang tunggal pada titik H-3 sebesar 3,2 mm < 25 mm berarti aman dan penurunan tiang pancang tunggal pada titik H-6 sebesar 1,7688 mm < 25 mm berarti aman. Penurunan tiang pancang kelompok pada titik H-3 adalah 8,92 mm < 25 mm berarti aman terhadap penurunan dan penurunan tiang pancang kelompok yang terjadi pada titik H-6 adalah 6,78 mm < 25 mm yang berarti aman.

Kata kunci: : Daya Dukung, Penurunan, Tiang Pancang, Sondir.

PENDAHULUAN

Perencanaan pembangunan infrastruktur gedung perkantoran memiliki beban bangunan yang sangat besar, sehingga memerlukan daya dukung tanah yang dapat menanggung beban bangunan tersebut. Dibutuhkan perencanaan pondasi yang tepat, sehingga dapat menjamin keamanan berdirinya gedung perkantoran tersebut. Pondasi yang direncanakan selain memperhatikan faktor keamanan berdirinya bangunan juga harus memperhatikan apakah cocok atau tidak diterapkan dengan kondisi lapangan yang tersedia, sehingga selain faktor aman terpenuhi, dapat dilaksanakan di lapangan, dan dari segi biaya yang dikeluarkan dapat terkendali sesuai dengan yang direncanakan.

Kendala yang dihadapi untuk pembangunan infrastruktur di Provinsi Kalimantan Tengah, khususnya Kota Palangka Raya adalah karakteristik tanah lunak terutama tanah gambut. Tanah gambut merupakan salah satu jenis tanah lunak yang memiliki daya dukung tanah sangat rendah. Oleh karena itu, pembangunan gedung perkantoran dengan beban bangunan yang besar di atas tanah gambut memerlukan tipe pondasi yang mampu untuk menahan beban bangunan.

Pada lokasi proyek pembangunan gedung DPRD Kota Palangka Raya yang dilaksanakan di Jalan G. Obos XI Kota Palangka Raya, telah dilakukan uji *Cone Penetration Test* (CPT) dengan 7 titik pengujian dan didapatkan tanah keras paling dalam dari 7 titik sampel terdapat pada kedalaman 15 meter. Pada dokumen kontrak pembangunan gedung DPRD Kota Palangka Raya, pondasi yang digunakan adalah tiang pancang persegi dengan ukuran 25x25 dengan mutu beton K-400. Dengan desain pondasi yang direncanakan menggunakan pondasi tiang pancang kelompok diharapkan dapat menanggung beban bangunan gedung DPRD Kota Palangka Raya.

Karakteristik tanah di lokasi pembangunan merupakan tanah lunak dengan kedalaman tanah keras bervariasi setelah dilakukan uji *Cone Penetration Test* (CPT), maka perlu adanya analisis tentang daya dukung dan penurunan tiang pancang kelompok pada proyek pembangunan Gedung DPRD Kota Palangka Raya, sehingga diketahui seberapa besar daya dukung yang dapat ditanggung oleh pondasi tiang pancang kelompok yang direncanakan dan mengetahui seberapa besar penurunan yang terjadi.

Studi kasus pada penelitian ini adalah tiang pancang kelompok pada pembangunan gedung DPRD Kota Palangka Raya. Penentuan lokasi tersebut dilakukan dengan pertimbangan pada lokasi pembangunan gedung memiliki karakteristik tanah lunak dengan kedalaman yang bervariasi sehingga perlu adanya penelitian apakah daya dukung pondasi tiang pancang kelompok yang direncanakan sudah dapat menahan beban bangunan dan aman terhadap penurunan gedung tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besar daya dukung tiang pancang dan besar penurunan yang terjadi.

TINJAUAN PUSTAKA

Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang (*pile foundation*) digunakan bila tanah pondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung bebannya dan tanah kerasnya terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Pondasi tiang umumnya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang dibanding dengan pondasi sumuran.

Perhitungan Pembagian Tekanan Pada Tiang Pancang Kelompok

Perhitungan pembagian tekanan pada tiang pancang kelompok yaitu:

1. Kelompok Tiang yang Menerima Beban Normal Sentris dan Momen yang Bekerja Pada Dua Arah.

Kelompok tiang yang bekerja dua arah (x dan y), dipengaruhi oleh beban vertikal dan momen (x dan y) yang akan dipengaruhi terhadap kapasitas daya dukung tiang pancang.

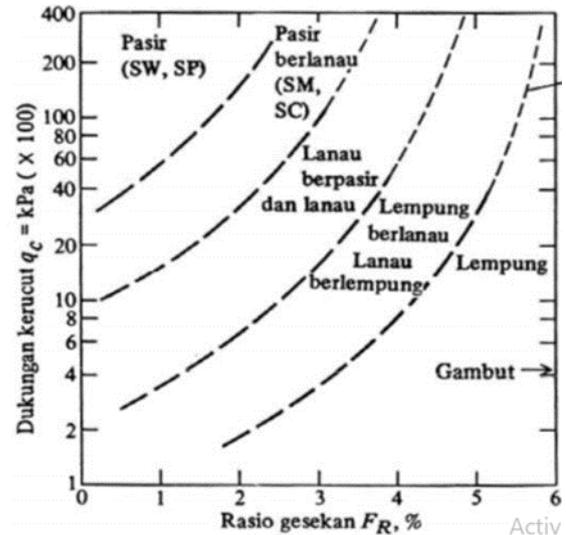
$$Q_i = \frac{\sum v}{n} \pm \frac{(M_y \cdot X_i)}{(\sum x^2)} \pm \frac{(M_x \cdot Y_i)}{(\sum y^2)} \quad (1)$$

Keterangan :

- Q_i = Beban aksial pada tiang ke-i
 $\sum v$ = Jumlah beban vertikal (ton)
 n = Jumlah tiang pancang
 M_x = Momen yang bekerja pada kelompok tiang searah sumbu x (tm)
 M_y = Momen yang bekerja pada kelompok tiang searah sumbu y (tm)
 X_i = Jarak tiang pancang terhadap titik berat tiang kelompok pada arah X (m)
 Y_i = Jarak tiang pancang terhadap titik berat tiang kelompok pada arah Y (m)
 $\sum x^2$ = Jumlah kuadrat tiang pancang pada arah x (m²)
 $\sum y^2$ = Jumlah kuadrat tiang pancang pada arah y (m²)

Menentukan Klasifikasi Tanah Berdasarkan Data Sondir

Untuk mengklasifikasikan tanah ada banyak jenis klasifikasi, salah satunya dari Robertson dan Campanella (Bowles, 1998). Pada klasifikasi ini digunakan dengan cara memplotkan antara nilai q_c dengan F_R . Hasil plot itu menunjukkan jenis tanah pada daerah tersebut. Sebelum memplotkan, nilai q_c harus diubah terlebih dahulu dari satuan kg/cm^2 ke dalam satuan MPa atau Mega Pascal. Untuk nilai $1 \text{ kg/cm}^2 = 0,0980665 \text{ MPa}$.



Gambar 1. Grafik q_c dan F_R Menurut Robertson dan Campanella (Bowles, 1998)

Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data Sondir

Diantara uji di lapangan, sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT) sering kali menjadi pertimbangan geoteknik. *Cone Penetration Test* (CPT) atau uji sondir memiliki keuntungan uji yang cepat, sederhana, ekonomis dan uji tersebut dapat dipercaya. *Cone Penetration Test* (CPT) atau sondir ini juga dapat mengklasifikasikan lapisan tanah, memperkirakan kekuatan tanah dan karakteristik tanah. Di dalam perencanaan pondasi tiang pancang sangat diperlukan data tanah sangat diperlukan untuk merencanakan kapasitas daya dukung (*Bearing Capacity*) dari tiang pancang sebelum pembangunan dimulai, guna menentukan daya dukung ultimit dari tiang pancang.

Metode Aoki dan De Alencar

Aoki dan De Alencar (Titi, 1999) mengusulkan untuk memperkirakan kapasitas dukung ultimit dari data Sondir. Kapasitas dukung ujung persatuan luas (q_b) diperoleh sebagai berikut :

$$q_b = \frac{q_{ca}(\text{base})}{F_b} \quad (2)$$

keterangan :

$q_{ca}(\text{base})$ = Perlawanan konus rata-rata 1,5 D diatas ujung tiang, 1,5 D dibawah ujung tiang dan F_b adalah factor empirik tahanan ujung tiang tergantung pada tipe tiang.

Tahanan kulit persatuan luas (f) diprediksi sebagai berikut :

$$F = qc \text{ (side)} \cdot \frac{as}{Fs} \quad (3)$$

Keterangan :

qc (side) = Perlawanan konus rata-rata pada masing lapisan sepanjang tiang.

Fs = Faktor empirik tahanan kulit yang tergantung pada tipe tiang.

Fb = Faktor empirik tahanan ujung tiang yang tergantung tipe tiang.

Tabel 1. Faktor empirik Fb dan Fs

Tipe Tiang Pancang	Fb	Fs
Tiang Bor	3,5	7,0
Baja	1,75	3,5
Beton Pratekan	1,75	3,5

Metode Langsung

Metode langsung (Hardiyatmo, 2002) ini dikemukakan oleh beberapa ahli diantaranya: Meyerhoff, Tomlinson, Begemann.

Daya dukung pondasi tiang dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$Q_u = q_c \times A_p + JHL \times K_t \quad (4)$$

Keterangan :

Q_u = Kapasitas Daya Dukung Tiang.

Q_c = Tahanan ujung Sondir.

Dapat digunakan faktor koreksi Meyerhoff :

qc_1 = Rata-rata (qc) 8D diatas ujung tiang.

qc_2 = Rata-rata (qc) 4D diatas ujung tiang

JHL = Jumlah hambatan lekat.

K_t = Keliling tiang.

A_p = Luas penampang tiang.

Metode Philipponant

Philipponant (1980) mencoba untuk mengembangkan sebuah metode langsung sederhana berbasis *Cone Penetrometer Test* (CPT) untuk mengestimasi kapasitas daya dukung tiang untuk kondisi tanah yang berbeda. Nilai f_p dipengaruhi oleh jenis tiang dan tanah. Adapun q_b tiang, Philipponant menyarankan nilai q_c rata-rata yang diperoleh dari jarak 3D ke atas dan ke bawah dari dasar tiang. Komponen daya dukung tersebut diperoleh dengan :

$$f_p = q_c \text{ (side)} \cdot \frac{as}{Fs} \leq f_p \text{ (terbesar)} \quad (5)$$

$$q_b = k_b \cdot q_c \text{ (tip)} \quad (6)$$

Keterangan :

f_p = Tahanan selimut tiang (ton/m^2)

$q_c \text{ (side)}$ = Rata-rata bacaan q_c (ton/m^2)

q_b = Tahanan ujung tiang (ton/m^2)

$q_c \text{ (tip)}$ = Nilai q_c pada ujung tiang (ton/m^2)

k_b = Koefisien bergantung jenis tanah

Kapasitas Kelompok dan Efisiensi Tiang Pancang

Pada kelompok tiang yang dasarnya bertumpu pada lapisan lempung lunak, faktor aman terhadap keruntuhan blok harus diperhitungkan, terutama untuk jarak tiang-tiang yang dekat. Pada tiang yang dipasang pada jarak yang besar, tanah diantara tiang-tiang bergerak sama sekali ketika tiang bergerak kebawah oleh akibat beban yang bekerja. Tetapi, jika jarak tiang-tiang terlalu dekat, saat tiang turun oleh akibat beban, tanah diantara tiang-tiang juga ikut bergerak turun. Pada kondisi ini, kelompok tiang dapat dianggap sebagai satu tiang besar dengan lebar yang sama dengan lebar kelompok tiang. Saat tanah yang mendukung beban kelompok tiang ini mengalami keruntuhan, maka model keruntuhannya disebut keruntuhan blok. Jadi, pada keruntuhan blok, tanah yang terletak diantara tiang bergerak kebawah bersama-sama dengan tiangnya. Mekanisme keruntuhan yang demikian dapat terjadi pada tipe-tipe tiang pancang.

Kapasitas ultimit kelompok tiang dengan memperlihatkan faktor efisiensi tiang dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_a \quad (7)$$

Q_g = Beban maksimum kelompok tiang yang mengakibatkan keruntuhan.

n = Jumlah tiang dalam kelompok.

Q_a = Beban maksimum tiang tunggal.

Beberapa persamaan efisiensi tiang telah diusulkan untuk menghitung kapasitas kelompok tiang, namun semuanya hanya bersifat pendekatan. Persamaan-persamaan yang diusulkan didasarkan pada susunan tiang, dengan mengabaikan panjang tiang, variasi sifat tanah dengan kedalaman dan pengaruh muka air tanah. Adapun persamaan-persamaan

efisiensi tiang tersebut yang disarankan oleh Converse-Labare (Hardiyatmo, 2002), sebagai berikut :

$$S_g = 1 - \theta \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90.m.n'} \quad (8)$$

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.

D = Diameter tiang maupun tiang bor.

Penurunan Tiang Pancang

Istilah penurunan (*settlement*) digunakan untuk menunjukkan gerakan titik tertentu pada bangunan terhadap titik referensi yang tetap. Umumnya, penurunan yang tidak seragam lebih membahayakan bangunan dari pada penurunan totalnya.

Selain dari kegagalan kuat dukung (*bearing capacity failure*) tanah, pada setiap proses penggalian selalu dihubungkan dengan perubahan keadaan tegangan didalam tanah, pada setiap proses penggalian selalu dihubungkan dengan perubahan keadaan tegangan didalam tanah. Perubahan tegangan pasti akan disertai dengan perubahan bentuk, pada umumnya hal ini yang menyebabkan penurunan pada pondasi (Hardiyatmo, 1996).

Pekiraan Penurunan Tiang Tunggal

Menurut Hardiyatmo (1996). penurunan jangka panjang untuk pondasi tiang tunggal tidak perlu ditinjau karena penurunan tiang akibat konsolidasi dari tanah relatif kecil. Hal ini disebabkan karena pondasi tiang direncanakan terhadap kuat dukung ujung dan kuat dukung friksinya atau penjumlahan dari keduanya.

Perkiraan penurunan tiang tunggal dapat dihitung berdasarkan :

Untuk tiang apung atau tiang friksi

$$S = \frac{(Q.I)}{(Es.D)} \quad (9)$$

Keterangan : I = I_o . R_k . R_h . R_μ

Untuk tiang dukung ujung

$$S = \frac{(Q.I)}{(Es.D)} \quad (10)$$

dimana : I = I_o . R_k . R_b . R_μ

Keterangan :

S = Penurunan untuk tiang tunggal.

Q = Beban yang bekerja.

I_o = Faktor pengaruh penurunan untuk tiang yang tidak mudah mampat.

R_k = Faktor koreksi mampatan tiang.

R_h = Faktor koreksi untuk ketebalan lapisan terletak pada tanah keras.

R_μ = Faktor koreksi angka Poisson μ.

R_b = Faktor kekakuan lapisan pendukung.

H = Kedalaman total lapisan tanah dari ujung tiang ke muka tanah.

D = Diameter tiang.

Perkiraan Penurunan Kelompok Tiang

Pada hitungan pondasi tiang, kapasitas izin tiang sering lebih didasarkan pada persyaratan penurunan. Penurunan tiang terutama bergantung pada nilai banding tahanan ujung dengan beban tiang. Jika beban yang didukung pertiang lebih kecil atau sama dengan tahanan ujung tiang, penurunan yang terjadi mungkin sangat kecil. Rumus penurunan kelompok tiang adalah:

$$S_g = \frac{q.Bg.I}{2.qc} \quad (11)$$

Keterangan :

$$q = \frac{Q}{(Lg . Bg)}$$

I = Faktor pengaruh = $1 - \frac{L}{8 Bg} \geq 5$

Lg = Lebar poor tiang pancang kelompok.

Bg = Lebar poor tiang pancang kelompok.

qc = Kapasitas tahanan ujung

Penurunan Yang Diijinkan

Penurunan yang diizinkan dari suatu bangunan bergantung pada beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut meliputi jenis, tinggi, kekakuan, dan fungsi bangunan, serta besar dan kecepatan penurunan serta distribusinya. Jika penurunan berjalan lambat, semakin besar kemungkinan struktur untuk menyesuaikan diri terhadap penurunan yang terjadi tanpa adanya kerusakan strukturnya oleh pengaruh rangkakan (*creep*). Oleh karena itu, dengan alasan tersebut, kriteria penurunan pondasi pada tanah pasir dan pada tanah lempung berbeda.

Karena penurunan maksimum dapat diprediksi dengan ketetapan yang memadai, umumnya dapat diadakan hubungan antara penurunan diizinkan dengan penurunan maksimum. Dimana syarat perbandingan penurunan yang aman yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Stotal} &\leq \text{Sizin} \\ \text{Sizin} &= 10 \% \cdot D \end{aligned} \quad (12)$$

Keterangan:

D = diameter tiang

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Kegiatan dilaksanakan pembangunan gedung Dewan Perwakilan Rakyat Daerah (DPRD) Kota Palangka Raya yang berlokasi di Jalan G. Obos XI Kota Palangka Raya (Komplek Perkantoran Kota Palangka Raya).

Dari lokasi penelitian dilakukan uji sondir oleh CV. Borneo Geotech Engineering dengan klien PT. Dua Bersama selaku kontraktor pada pembangunan gedung DPRD Kota Palangka Raya. Pengujian menggunakan alat sondir berkapasitas 2,5 ton, pekerjaan ini meliputi tahanan konus dan jumlah hambatan pelekat. Pengujian ini dilakukan pada 7 titik sampai kedalaman dimana tekanan konus $>150 \text{ Kg/cm}^2$. Pelaksanaan pekerjaan sondir sesuai dengan prosedur standar ASTM D3341-75T.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Data Penelitian

Data yang diperlukan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu data primer dan sekunder sebagai berikut:

1. Data Primer

Data primer adalah sumber data yang langsung memberikan data kepada pengumpul data. Pada penelitian data primer adalah data hasil analisis pembebanan. Analisis pembebanan berdasarkan data sekunder yang diperoleh yaitu beban hidup, beban mati, material struktur dan spesifikasi material yang digunakan.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data atau informasi yang diperoleh dalam format yang sudah tersusun atau terstruktur. Data sekunder dalam penelitian ini adalah data sondir (perlawanan konus dan jumlah hambatan pelekat), gambar struktur bangunan gedung (gambar penampang struktur, material yang digunakan dan beban yang bekerja) dan data pemancangan dari instansi terkait (panjang pancang yang masuk kedalam tanah dan pancang yang masih berada diatas tanah).

Tahapan Analisis Data

Langkah-langkah dan teknik analisa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis gaya yang bekerja pada kelompok tiang.
2. Menghitung kapasitas daya dukung berdasarkan data sondir.
3. Menghitung kapasitas daya dukung tiang pancang kelompok berdasarkan efisiensi.
4. Menghitung penurunan tiang pancang.

Hasil Penelitian

Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Titik H-3

Data Umum Tiang Pancang

Sisi tiang = 25 cm.

Keliling pancang (A_s) = $4 \times 25 \text{ cm} = 100 \text{ cm}$.

Luas pancang (A_b) = $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} = 625 \text{ cm}^2$

Metode Aoki dan De Alencar

Tiang Pancang	Kedalaman (meter)	Perlawanan Konus (kg/cm ²)
	9,40	160
9,60	180	
9,80	200	
10,00	200	
10,20	200	

Gambar 3. Nilai qca (base) titik H-3

Nilai qca diambil rata-rata:

$$qca = (160+180+200+200+200)/5 = 188 \text{ kg/cm}^2$$

Kapasitas dukung ujung persatuan luas (qb) :

$$qb = \frac{qca \text{ (base)}}{Fb}$$

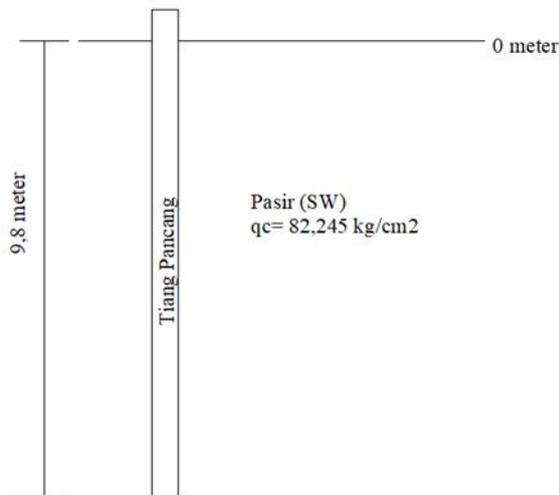
$$qb = 188/1,75 = 107,43 \text{ kg/cm}^2$$

Kapasitas dukung ujung tiang pancang (Qb) :

$$Qb = qb \times Ap$$

$$Qb = 107,43 \times 625 = 67143,75 \text{ kg} = 67,144 \text{ ton}$$

Perhitungan Kapasitas Dukung Kulit (Qc)



Gambar 4. Nilai qca (side) titik H-3

Kapasitas dukung kulit persatuan luas (f) :

$$F = qc \text{ (side)} \frac{as}{Fs}$$

$$f = 82,245 \times 0,014/3,5 = 0,329 \text{ kg/cm}^2$$

Kapasitas dukung kulit tiang pancang (Qs)

$$Qs = f \times As$$

$$Qs = 0,329 \times 100 \times 980 = 32242 \text{ kg} = 32,242 \text{ ton}$$

Jadi, kapasitas dukung ultimit tiang pancang adalah :

$$Qu = Qb + Qs$$

$$Qu = 67,144 + 32,242 = 99,386 \text{ ton}$$

Kapasitas ijin tiang (Qa) adalah :

$$Qa = \frac{Qu}{SF}$$

$$Qa = 99,386/2,5 = 39,754 \text{ ton}$$

Metode Langsung

Tabel 2. Data Sondri Titik H-3

Kedalaman (meter)	Perlawanan Konus (kg/cm ²)	JHL (kg/cm ²)
7,80	80	1.480
8,00	100	1.520
8,20	100	1.560
8,40	120	1.600
8,60	120	1.640
8,80	120	1.680
9,00	130	1.720
9,20	140	1.760
9,40	160	1.800
9,60	180	1.840
9,80	200	1.880

qc1 adalah rata-rata qc 8D diatas tiang.

qc1 kedalaman 9,8 meter

$$qc1 = (80+100+100+120+120+120+130+140+160+180+200)/11 = 131,818 \text{ kg/cm}^2$$

qc2 adalah rata-rata qc 4D bawah tiang.

qc2 kedalaman 9,8 meter

$$qc1 = (200+200+200+200+200)/5 = 200 \text{ kg/cm}^2$$

qp adalah tahanan ultimit ujung tiang

$$qp = (qc1+qc2)/2$$

$$qp = (131,818 + 200)/2 = 165,909 \text{ kg/cm}^2$$

Ultimit adalah kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal

$$Qult = qp \times Ap + JHL \times K$$

$$Qult = 165,909 \times 625 + 1.880 \times 100 = 291693,125 \text{ kg}$$

$$Qijin = (qp \times Ap)/3 + (JHL \times K)/5$$

$$Qijin = (165,909 \times 625)/3 + (1.880 \times 100)/5 = 72,164 \text{ ton}$$

Metode Philipponant

Perhitungan kapasitas dukung ujung tiang (Qp)

qp adalah tahanan ultimit ujung tiang

$$qp = 0,4 \times 182,857 = 73,143 \text{ kg/cm}^2$$

Kapasitas dukung ujung tiang pancang (Qp) :

$Q_p = (A \cdot x_{qp})/3 = (625 \times 73,143)/3 = 15238,125 \text{ kg}$
 Perhitungan kapasitas dukung kulit tiang (Q_s)
 $Q_s = P/3 \times \text{JHP}$
 $Q_s = 100/3 \times 1880 = 62666,667 \text{ kg} = 62,667 \text{ ton}$
 Jadi, kapasitas dukung ultimit tiang pancang adalah :
 $Q_{ult} = Q_p + Q_s$
 $Q_{ult} = 15,238 + 62,667 = 77,905 \text{ ton}$
 $Q_{ijin} = 77,905/2,5 = 31,162 \text{ ton}$

Setelah dihitung dengan metode Aoki dan De Alencar, langsung dan Philipponant, selanjut dibuat rekapan daya dukung tiang pada titik I-2 agar dapat dengan mudah mengetahui perbandingan daya dukung yang dihasilkan.

Tabel 3. Rekapitulasi Daya Dukung Tiang dengan Beberapa Metode di Titik H-3

No.	Metode	Qult (ton)	Qijin (ton)
1.	Aoki dan De Alencar	99,386	39,754
2.	Langsung	291,693	72,164
3.	Philipponant	77,905	31,162

Rekapitulasi Daya Dukung Tiang dengan Beberapa Metode di titik I-6

Setelah dihitung dengan metode Aoki dan De Alencar, langsung dan Philipponant, selanjut dibuat rekapan daya dukung tiang pada titik I-6 agar dapat dengan mudah mengetahui perbandingan daya dukung yang dihasilkan.

Tabel 4. Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Tunggal Titik H-6

No.	Metode	Qult (ton)	Qijin (ton)
1.	Aoki dan De Alencar	86,507	34,603
2.	Langsung	184,273	50,491
3.	Philipponant	42,690	17,076

Menghitung Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang Berdasarkan Efisiensi

Digunakan metode Converse-Labare untuk menghitung efisiensi tiang sebagai berikut:

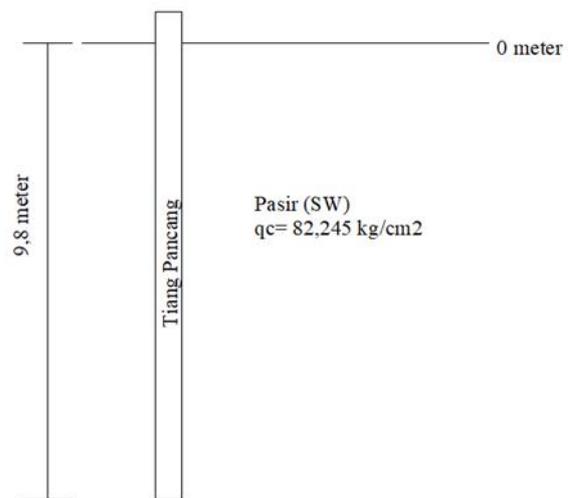
$$S_g = 1 - \theta \frac{(n'-1).m + (m-1).n'}{90.m.n'}$$

$\theta = \text{Arc tg } D/S = \text{Arc tg } (25/105) = 13,392^\circ$
 $n' = 2$
 $m = 2$
 $E_g = 1 - 13,392((2-1)x2 + (2-1)x2)/90x2x2 = 0,851$
 Kapasitas dukung kelompok ijin tiang (Q_g)
 $Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_a$
 Diambil contoh untuk I-2 metode Aoki dan De Alencar
 $Q_g = 0,851 \times 4 \times 39,754 = 135,323 \text{ ton}$

Tabel 5. Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

No	Nama Metode	Qg untuk titik I2 (ton)	Qg untuk titik I6 (ton)
1	Aoki dan De Alencar	135,323	117,789
2	Langsung	245,646	171,871
3	Philipponant	106,075	58,127

Penurunan Tiang Pancang Tunggal



Gambar 3. Nilai qc Side Titik H-3

Modulus elastisitas tanah disekitar tiang (E_s) :

$$\begin{aligned}
 E_s &= 3 \cdot q_c \\
 &= 3 \cdot 82,245 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 246,735 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 24,674 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Modulus elastisitas di dasar tiang (E_b) :

$$\begin{aligned}
 E_b &= 10 \cdot E_s \\
 &= 10 \cdot 24,674 \text{ Mpa} \\
 &= 246,74 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Menentukan modulus elastisitas dari bahan tiang:

Dengan mutu beton K-400 maka $f_c' = 400$ kg/cm² = 40 Mpa

$$E_p = 4700 \cdot \sqrt{f_c'} = 4700 \cdot \sqrt{40} = 29.725,41 \text{ Mpa}$$

$$R_a = A_p/S_x S = 625/(25 \times 25) = 1$$

Menentukan faktor kekuan tiang :

$$K = (E_p \times R_a)/E_s$$

$$K = (29.725,41 \times 1)/24,674 = 1.204,73$$

db adalah diameter tiang pancang ujung, d adalah diameter tiang pancang atas dan L adalah kedalaman tiang pancang dari muka tanah sampai tanah keras.

Untuk $db/d = 25/25 = 1$, sisi ujung dan atas sama

$$\text{Untuk } L/d = 980/25 = 39,20$$

Dari masing-masing grafik didapat :

$$I_0 = 0,055 \text{ (untuk } L/d = 39,20 \text{ dan } db/d = 1)$$

$$R_k = 1,45 \text{ (untuk } L/d = 39,20 \text{ dan } K = 1.204,73)$$

$$R_\mu = 0,905 \text{ (untuk } \mu_s = 0,25 \text{ dan } K = 1.204,73)$$

$$R_h = 0,39 \text{ (untuk } L/d = 39,20 \text{ dan } h/L = 1)$$

$$R_b = 0,58 \text{ (untuk } L/d = 39,20 \text{ dan } E_b/E_s = 10)$$

Tiang apung atau friksi

$$I = I_0 \cdot R_k \cdot R_h \cdot R_\mu$$

$$I = 0,055 \cdot 1,45 \cdot 0,905 \cdot 0,39 = 0,028$$

$$S = (Q \cdot I)/(E_s \cdot S)$$

$$S = (28570 \cdot 0,028)/(246,735 \cdot 25) = 0,13 \text{ cm}$$

Tiang dukung ujung

$$I = I_0 \cdot R_k \cdot R_b \cdot R_\mu$$

$$I = 0,055 \cdot 1,45 \cdot 0,905 \cdot 0,58 = 0,042$$

$$S = (Q \cdot I)/(E_s \cdot S)$$

$$S = (28570 \cdot 0,042)/(246,735 \cdot 25) = 0,19 \text{ cm}$$

Hasil penurunan tiang total

Dengan syarat Penurunan tiang tunggal < penurunan ijin. Penurunan tiang pancang tunggal pada titik H-3 sebesar 3,2 mm < 25 mm berarti aman dan penurunan tiang pancang tunggal pada titik H-6 sebesar 1,7688 mm < 25 mm berarti aman.

Penurunan Kelompok Tiang

Penurunan kelompok tiang memiliki rumus sebagai berikut :

$$S_g = (q \cdot B_g \cdot I)/(2 \cdot q_c)$$

Keterangan :

Tiang pancang titik H-3 :

$$q = Q/(L_g \cdot B_g) = 114280/160 \cdot 160 = 4,46 \text{ Kg/cm}^2$$

Tiang pancang titik H-6

$$q = Q/(L_g \cdot B_g) = 86760/160 \cdot 160 = 3,39 \text{ Kg/cm}^2$$

$$I = 1 - L/(8 \cdot B_g) > 0,5$$

$$I = 1 - 980/8 \cdot 160 > 0,5 = 0,23 < 0,5$$

Penurunan tiang pancang kelompok titik H-3 sebagai berikut:

$$S_g = (q \cdot B_g \cdot I)/(2 \cdot q_c)$$

$$S_g = (4,46 \cdot 160 \cdot 0,5)/(2 \cdot 200) = 0,892 \text{ cm} = 8,92 \text{ mm}$$

Penurunan tiang pancang kelompok titik H-6 sebagai berikut:

$$S_g = (q \cdot B_g \cdot I)/(2 \cdot q_c)$$

$$S_g = (3,39 \cdot 160 \cdot 0,5)/(2 \cdot 200) = 0,678 \text{ cm} = 6,78 \text{ mm}$$

Penurunan tiang pancang kelompok pada titik H-3 adalah 8,92 mm < 25 mm berarti aman terhadap penurunan dan penurunan tiang pancang kelompok yang terjadi pada titik H-6 adalah 6,78 mm < 25 mm yang berarti aman.

Tabel 5. Rekapitulasi Penurunan Tiang Pancang Titik H-3

No	Bentuk Penurunan	Penurunan Tiang
1.	Untuk tiang apung atau friksi	1,3 mm
2.	Untuk tiang dukung ujung	1,9 mm
	Pekiraan penurunan total	3,2 mm

Penurunan Yang Di Ijinkan

Penurunan yang diijinkan memiliki rumus 10% dari sisi tiang pancang. Maka penurunan yang diijinkan adalah sebagai berikut :

$$S_{ijin} = 10\% \cdot 250 \text{ mm} = 25 \text{ mm} = 2,5 \text{ cm}$$

KESIMPULAN

Dari analisis pembahasan yang telah dibuat maka dapat dibuat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Daya dukung tiang pancang tunggal pada titik H-3, daya dukung menggunakan metode langsung sebesar 72,164 ton dan menggunakan metode Philipponant sebesar 31,162 ton. Dan daya dukung tiang pancang tunggal pada titik H-6, daya dukung menggunakan metode langsung sebesar 50,491 ton dan menggunakan metode Philipponant sebesar 17,076 ton. Dari ketiga metode tersebut daya dukung tiang pancang

- tunggal metode Langsung > metode Aoki dan De Alencar > metode Philipponant.
2. Daya dukung tiang pancang kelompok pada titik H-6 menggunakan metode langsung sebesar 171,871 ton dan menggunakan metode Philipponant sebesar 58,127 ton. dan daya dukung tiang pancang kelompok pada titik H-3 menggunakan metode langsung sebesar 245,646 ton dan menggunakan metode Philipponant sebesar 106,075 ton. Beban yang terjadi pada tiang pancang kelompok titik H-3 adalah 102,28 Ton dan pada titik H-6 sebesar 86,76 Ton. Dari ketiga metode tersebut daya dukung tiang pancang kelompok metode Langsung > metode Aoki dan De Alencar > metode Philipponant. Hal ini menunjukkan bahwa daya dukung tanah mampu menahan beban bangunan yang terjadi pada dua titik tersebut karena angka daya dukung tiang pancang kelompok lebih besar dari beban bangunan yang bekerja pada dua titik yang ditinjau tersebut.
 3. Penurunan tiang pancang tunggal pada titik H-3 sebesar 3,2 mm < 25 mm yang merupakan penurunan yang diijinkan yang berarti penurunan masih dalam batas aman. dan pada titik H-6 adalah 1,76880 mm < 25 mm yang merupakan penurunan yang diijinkan yang berarti penurunan masih dalam batas aman.
 4. Penurunan tiang pancang kelompok pada titik H-3 adalah 8,92 mm < 25 mm berarti aman terhadap penurunan dan penurunan tiang pancang kelompok yang terjadi pada titik H-6 adalah 6,78 mm < 25 mm yang berarti aman.
 5. Metode yang paling ekonomis adalah metode Philipponant karena dengan angka daya dukung tiang pancang tunggal dan kelompok paling kecil dari dua metode lainnya namun masih dalam batas aman.

SARAN

1. Sebelum melakukan perhitungan harus memperoleh data teknis yang lengkap, karena data tersebut menunjang dalam membuat

- rencana analisa perhitungan, seusaai standar dan ketentuan yang berlaku.
2. Lebih teliti dalam pelaksanaan pehitungan dari data yang telah tersedia, agar hasil perhitungan lebih akurat.
3. Perhitungan daya dukung dan penurunan yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode-metode yang empiris dari hasil sondir. Tidak ada data pengujian laboratorium dalam pehitungannya, sehingga dalam penelitian selanjutnya dapat dibuat perhitungan secara hasil laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E. (1998). *Foundation Analysis and Design*. McGraw Hill, International Book Company.
- Hardiyatmo, H. C. (1996). *Teknik Pondasi I*. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I*. Gajah Mada Universitas Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Teknik Pondasi 2 Edisi Kedua*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Titi, H. (1999). *Evaluation of Bearing Capacity of Piles from Cone Penetration Test*. Lousina Trasnportation Research Center.
- Philipponant, G. (1980). *Methodes Pratiques de Calcul D'un Pieu Isole A L'aide Du Penetrometre Statique*. Rev Fr Ge'otech.