

PERBANDINGAN DAYA DUKUNG PONDASI BORE PILE MENGGUNAKAN METODE MAYERHOFF DAN VAN DER WEEN PADA PEMBANGUNAN PUSKESMAS KENANGAN PERUMNAS MANDALA KAB. DELI SERDANGSafa Marwa¹¹Universitas Islam Sumatera UtaraEmail: safamarwa9h@gmail.com

Abstrak: Pondasi merupakan elemen penting dalam suatu konstruksi karena berfungsi menyalurkan beban struktur ke lapisan tanah di bawahnya. Proyek Pembangunan Puskesmas Kenangan Perumnas Mandala di Kabupaten Deli Serdang memiliki karakteristik tanah yang bervariasi, sehingga diperlukan analisis geoteknik untuk menentukan kapasitas daya dukung pondasi yang aman. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas daya dukung pondasi bore pile menggunakan metode Mayerhoff dan Van Der Ween berdasarkan data sondir (CPT), serta mengevaluasi penurunan tiang tunggal pada kedua titik pengujian. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa metode Van Der Ween memberikan nilai daya dukung ultimit lebih tinggi dibandingkan metode Mayerhoff. Pada titik S-1, daya dukung ultimit yang diperoleh adalah 291,34 kN (Mayerhoff) dan 368 kN (Van Der Ween), sedangkan pada titik S-2 diperoleh 204,19 kN (Mayerhoff) dan 481,89 kN (Van Der Ween). Analisis penurunan tiang tunggal menunjukkan bahwa penurunan yang diizinkan metode Mayerhoff pada titik S-1 memiliki nilai sebesar 0,03097m dan pada titik S-2 sebesar 0,01676m, sedangkan metode Van Der Ween pada titik S-1 memiliki nilai sebesar 0,1719m dan pada titik S-2 sebesar 0,02834 kedua metode berada dalam batas aman sehingga pondasi bore pile dinyatakan memenuhi persyaratan stabilitas. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan dalam perencanaan pondasi pada proyek dengan kondisi tanah serupa.

Kata kunci: Bore Pile, Daya Dukung, Mayerhoff, Van Der Ween, Penurunan Tiang.

***Abstract:** Foundation is an important element in a construction because it functions to distribute the structural load to the underlying soil layer. The Kenangan Perumnas Mandala Community Health Center Development Project in Deli Serdang Regency has varying soil characteristics, so geotechnical analysis is required to determine the safe bearing capacity of the foundation. This study aims to analyze the bearing capacity of the bore pile foundation using the Mayerhoff and Van Der Ween methods based on sondir (CPT) data, and to evaluate the settlement of single piles at both test points. The calculation results show that the Van Der Ween method provides a higher ultimate bearing capacity value than the Mayerhoff method. At point S-1, the ultimate bearing capacity obtained is 291.34 kN (Mayerhoff) and 368 kN (Van Der Ween), while at point S-2 it is 204.19 kN (Mayerhoff) and 481.89 kN (Van Der Ween). The single pile settlement analysis shows that the allowable settlement using the Mayerhoff method at point S-1 is 0.03097 m and at point S-2 is 0.01676 m, while the Van Der Ween method at point S-1 is 0.1719 m and at point S-2 is 0.02834 m. Both methods are within safe limits, thus*

the bore pile foundation meets stability requirements. The results of this study can be used as a reference in foundation planning for projects with similar soil conditions.

Keywords: *Bore Pile, Bearing Capacity, Mayerhoff, Van Der Ween, Pile Settlement.*

PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan selalu diikuti oleh meningkatnya kebutuhan pada sektor jasa konstruksi, di mana kenyamanan, keamanan, serta kestabilan bangunan menjadi faktor utama. Kestabilan bangunan sangat dipengaruhi oleh daya dukung tanah sebagai media penyalur beban struktur melalui pondasi. Pondasi yang tidak didukung oleh daya dukung tanah yang memadai dapat menyebabkan penurunan hingga kegagalan struktur.

Untuk meningkatkan daya dukung tanpa perbaikan tanah, digunakan alternatif pondasi berselimut, yaitu pondasi yang dikombinasikan dengan selimut melingkar tipis dari baja atau beton di bagian bawah pondasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daya dukung pondasi bore pile pada tanah berlapis dengan dan tanpa selimut serta parameter yang memengaruhinya.

Studi dilakukan pada proyek Pembangunan Puskesmas Kenangan Perumnas Mandala Kabupaten Deli Serdang yang memiliki kondisi tanah bervariasi, sehingga diperlukan analisis geoteknik yang tepat. Pondasi bore pile dipilih karena mampu menahan beban besar, minim getaran, dan kedalamannya dapat disesuaikan dengan kondisi tanah.

Data tanah diperoleh dari hasil penyelidikan tanah berupa uji sondir CPT, uji SPT, dan pengujian laboratorium. Perhitungan daya dukung pondasi dilakukan menggunakan metode Meyerhof dan Van der Ween. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi rekomendasi teknis dalam perencanaan pondasi pada proyek tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Tinjauan Umum

Pondasi adalah bagian dari struktur bangunan yang menerima dan menyalurkan beban dari struktur ke lapisan tanah atau batuan yang ada di bawahnya. Pondasi memiliki peran krusial dalam menjamin kestabilan dan keselamatan bangunan (SNI 2847:2013).

Berdasarkan kedalaman dan kondisi tanah, pondasi dibagi menjadi dua kategori utama:

- **Pondasi Dangkal (Shallow Foundation)**

Merupakan pondasi yang mendukung beban secara langsung. Pondasi ini digunakan

apabila lapisan tanah pendukung pada dasar pondasi terletak relatif jauh dari permukaan tanah/daya dukung tanah pada dasar bangunan lemah. Jika kedalaman dasar pondasi dari muka tanah adalah kurang atau sama dengan lebar pondasi ($D = B$) maka disebut pondasi dangkal. Terdapat 5 jenis pondasi dangkal yaitu:

1. Pondasi Telapak (memiliki bentuk dasar persegi atau persegi panjang dan digunakan untuk menyalurkan beban bangunan yang terpusat ke lapisan tanah di bawahnya. Pondasi telapak biasanya digunakan pada bangunan bertingkat rendah seperti rumah tinggal, ruko, dan gedung kecil yang memiliki beban ringan hingga sedang)
2. Pondasi Slab (adalah jenis pondasi yang terdiri dari pelat beton bertulang yang menyebar di seluruh area pondasi untuk menyalurkan beban ke tanah).
3. Pondasi Batu Kali (biasanya digunakan untuk bangunan yang terbuat dari bahan tradisional, seperti rumah kayu atau bangunan dengan beban ringan. Pondasi ini dibangun dengan menumpuk batu kali besar untuk menyalurkan beban ke tanah).
4. Pondasi Cakar Ayam (adalah pondasi yang terdiri dari pelat beton bertulang yang sangat besar dan membentang di seluruh area bangunan. Digunakan untuk menahan beban bangunan yang sangat besar atau pada tanah yang memiliki daya dukung rendah dan tidak merata).
5. Pondasi Sloof (sering digunakan sebagai penghubung antar pondasi tapak)

- **Pondasi Dalam (Deep Foundation)**

Digunakan apabila lapisan tanah dangkal tidak memiliki daya dukung yang cukup untuk menahan beban bangunan, atau apabila penting terutama untuk bangunan tinggi atau di area dengan lapisan tanah atas yang lemah. Tiang pancang dapat terbuat dari beton, baja, atau kayu.

2. **Bore Pile (*Bore Pile Foundation*)**

Adalah pondasi dalam yang berbentuk tabung, yang berfungsi meneruskan beban struktur bangunan di atasnya dari permukaan tanah sampai lapisan tanah keras di bawahnya. Pondasi bore pile memiliki fungsi yang sama dengan pondasi tiang pancang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah lebih dahulu. Pemasangan pondasi bore pile ke dalam tanah dilakukan dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, yang kemudian diisi tulangan yang telah dirangkai dan dicor beton.

3. Penyelidikan Tanah

Berdasarkan Bowles, Joseph E. (1984), Uji penyelidikan tanah adalah kegiatan untuk mengetahui daya dukung dan karakteristik tanah serta kondisi geologi, seperti mengetahui susunan lapisan tanah/sifat tanah, mengetahui kekuatan lapisan tanah dalam rangka penyelidikan tanah dasar untuk keperluan pondasi bangunan, jalan, kepadatan dan daya dukung tanah serta mengetahui sifat korovitas tanah.

Menurut Bowles (1996), Sondir atau *Cone Penetration Test (CPT)* merupakan salah satu metode in-situ yang paling banyak digunakan untuk memperoleh informasi tentang daya dukung tanah, terutama untuk tanah berbutir halus dan tanah yang kohesif.

Dari hasil sondir diperoleh nilai jumlah perlawanan (JP), dan nilai perlawanan konus (PK), sehingga hambatan lekat (HL) dapat dihitung sebagai berikut:

- a. Hambatan Lekat (HL)

$$HL = (JP - PK) \times \frac{a}{b}$$

- b. Jumlah Hambatan Lekat

kedalaman pondasi yang dibutuhkan terlalu besar. Pondasi dalam menembus tanah dangkal

$$JHL = \sum_{i=0}^i HL$$

Dimana :

JP = Jumlah perlawanan, perlawanan ujung konus+selimut (kg/cm²)

PK = Perlawanan penetrasi konus, qc (kg/cm²)

A = Interval pembacaan (setiap kedalaman 20cm)

B = Faktor Alat = luas konus = 10 cm

I = Kedalaman lapisan tanah yang ditinjau (m)

4. Kapasitas Daya Dukung Tanah

Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang dapat dibagi menjadi 2 (dua) macam yaitu :

- 1) Daya dukung ujung tiang (*end bearing pile*) adalah tiang yang kapasitas daya dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan, kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan yang berada dibawah ujung tiang

- 2) Tiang gesek (*friction pile*) adalah tiang yang kapasitas daya dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah disekitarnya.

Menurut Hardiyatmo, (2011) Kapasitas daya dukung tiang bor adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban. Jika dalam kapasitas dukung pondasi dangkal satuan tekanan (kPa) maka dalam kapasitas dukung tiang satuannya adalah satuan gsy (kN).

Kapasitas dukung ultimit tiang (Q_u), dihitung dengan persamaan umum, yaitu :

$$Q_u = Q_b + Q_s = q_b \cdot A_b + f \cdot A_s$$

Dimana :

Q_u = Kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang bor

Q_b = Kapasitas tahanan ujung tiang

Q_s = Kapasitas tahanan kulit

q_b = Kapasitas daya dukung ujung tiang persatuan luas

A_b = Luas ujung tiang

f = Satuan tahanan kulit persatuan luas

A_s = Luas kulit tiang bor

Metode Mayerhoff

Metode Mayerhoff (1976) telah menyempurnakan teorinya dengan mempertimbangkan beberapa faktor dalam menentukan daya dukung tanah.

Rumus :

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$Q_u = f_b \cdot A_b + f_s \cdot A_s$$

Dimana :

f_b = Tahanan ujung satuan (kg/cm²)

A_b = Luas penampang ujung tiang bor (m²)

f_s = Tahanan gesek satuan (kg/cm²)

A_s = Luas selimut tiang bor (m²)

- Daya dukung tahanan ujung (Q_p)

$$Q_p = A_b \cdot f_b$$

$$f_b = \omega_1 \cdot \omega_2 \cdot q_{ca}$$

Dimana :

Q_p = Daya dukung tahanan ujung (kN/m²) A_b = Luas penampang (m²)

f_b = Tahanan ujung satuan untuk tiang bor diambil 70% atau 50% nya

q_{ca} = q_c rata-rata (kN/m²) pada zona 1d dibawah ujung tiang dan 4d diatasnya (d = diameter bore pile)

ω_1 = $[(d + 0,5) / 2d]^n$; koefisien modifikasi pengaruh skala, jika $d < 0,5$ m, $\rightarrow \omega_1 = 1$

ω_2 = $L/10d$; koefisien modifikasi untuk penetrasi tiang dalam lapisan pasir pada saat $L < 10d$, lalu jika $L > 10d$, $\rightarrow \omega_2 = 1$

- Daya dukung tahanan gesek (Q_s)

Tahanan gesek satuan diambil salah satu dari : $Q_s = \sum A_s \cdot f_s$

Dengan K_f adalah 1 atau, bila tidak dilakukan pengukuran tahanan gesek sisi konus :

$$f_s = K_c \cdot q_c$$

Dengan K_c adalah 0,005 Dimana :

Q_s = Daya dukung tahanan gesek (kN/m²)

A_s = Luas selimut tiang bor (m²)

f_s = Tahanan gesek satuan (kg/cm²)

K_c = Koef. Modifikasi tahanan konus

q_c = Penetrasi konus

- Daya dukung ijin tiang bor (Q_{all})

$$Q_{all} = \frac{Q_p}{FK} + \frac{Q_s}{FK}$$

Dimana :

Q_{all} = Daya dukung ijin tiang bor (kN)

FK = Faktor keamanan (2,5-4)

Q_p = Daya dukung tahanan ujung (kN/m²)

Q_s = Daya dukung tahanan gesek (kN/m²)

Metode Van Der Ween

Pada metode Van Der Ween daya dukung ultimit (Q_u) adalah beban maksimum yang

dapat dipikul pondasi tanpa mengalami keruntuhan, dirumuskan dengan :

$$q_c = \frac{q_{ca}}{4,5 \cdot D}$$

$Q_u = Q_p + Q_s$ Dimana :

q_c = penetrasi konus di perpanjang 3,5 D diatas dasar pondasi, sampai 1 D dibawah dasar pondasi

Q_u = Daya dukung ultimit

Q_s = Daya dukung ujung tiang

Q_p = Daya dukung selimut tiang

Daya dukung ujung tiang (Q_p) :

$$Q_p = \frac{q_{ca}}{3\alpha} \times A_p$$

Dimana :

q_{ca} = Harga rata-rata konus

3 = Angka keamanan

A_p = Luas penampang (cm^2)

α = Koefisien tergantung pada jenis tanah dan tiang.

- Daya dukung selimut tiang (Q_s) ;

$$Q_s = \frac{1}{2} \cdot P \cdot JHP$$

Dimana :

P = Keliling tiang (m)

JHP = Jumlah Hambatan Pelekat

- Daya dukung ijin tiang (Q_{all})

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FK}$$

Dimana :

Q_u = Daya dukung ultimate

FK = Faktor Keamanan (2,5 – 4). Diambil 3

Penurunan Tiang

Menurut Anigrah Pamungkas dan Erny Harianti, (2002) Penurunan tiang pada kelompok tiang merupakan jumlah penurunan elastis atau penurunan yang terjadi dalam satu waktu dekat (*immediate settlement atau elastic settlement*) S_i dan penurunan yang terjadi dalam jangka waktu yang panjang (*long term consolidation settlement*).

1. Penurunan Tiang Tunggal

Berikut adalah persamaan penurunan pondasi tiang tunggal :

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

Dimana :

S = Penurunan total

S_1 = Penurunan akibat deformasi aksial tiang (m)

S_2 = Penurunan dari ujung tiang (m)

S_3 = penurunan tiang akibat beban yang diahlikan sepanjang tiang (m)

- Penurunan akibat deformasi aksial tiang

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \alpha Q_s)}{A_p \cdot E_p}$$

Dimana :

S_1 = Penurunan akibat deformasi aksial tiang (m)

Q_p = Beban yang didukung ujung tiang (kN/m^2)

Q_s = Beban yang didukung ujung tiang (kN/m^2)

L = Panjang tiang (m)

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

E_p = Modulus elastisitas tiang ($4700\sqrt{f'c}$) (kN/m^2)

α = Koefisien yang bergantung pada distribusi gesekan selimut sepanjang tiang (Vestic, 1997) menyarankan $\alpha = 0,5$ untuk distribusi gesekan yang seragam.

- Penurunan dari ujung tiang

$$S_2 = \frac{q_{wp} \cdot D}{E_b} (1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

Dimana :

q_{wp} = Beban yang didukung ujung tiang (kN)

D = Diameter tiang (m)

E_b = Modulus elastisitas tanah

μ_s^2 = Nisbah Poisson Tanah

I_{wp} = Faktor pengaruh sebesar 0,85

- Penurunan akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang

$$S_3 = \frac{q_{ws} \cdot D}{P \cdot L \cdot E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

Dimana :

Q_{ws} = Beban yang didukung ujung tiang (kN)

P = Keliling tiang (m)

L = Panjang tiang (m)

E_s = Modulus elastisitas tanah (kN)

μ_s^2 = Nisbah Poisson Tanah

I_{ws} = Faktor pengaruh

2. Penurunan Yang Diizinkan

Kondisi rasio penurunan yang aman adalah sebagai berikut :

$$S_{total} \leq S_{izin}$$

$S_{izin} = 10\% \cdot D$ Dimana :

D = Diameter tiang (m)

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka di peroleh untuk membagi kapasitas ultimit dengan faktor keamanan. Variasi besarnya faktor aman yang telah banya digunakan untuk perancangan pondasi tiang, tergantung pada jenis tiang dan tanah berdasarkan data laboratorium sebagai berikut : $Q_a = Q_u/2,5$

Dimana :

Q_u = Kapasitas daya dukung ultimit Tabel 2.1 Faktor Kemanan Yang Disarankan

Tabel 2.1 Faktor Kemanan Yang Disarankan

Klasifikasi Struktur	Kontrol baik	Kontrol Normal	Kontrol Jelek	Kontrol Sangat Jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	2	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2	2,4	2,8

METODE PENELITIAN

Metode Pengumpulan Data

Dalam melakukan penelitian ini ada beberapa metode yang akan digunakan untuk mengumpulkan data yang mendukung dalam menyelesaikan penelitian ini.

Berikut ini metode pengumpulan data yang akan dilakukan antara lain :

1) Pengambilan Data

Pengambilan data yang diperlukan dalam penelitian ini di dapat dari adapun data yang diambil antara lain :

- a) Data Sondir
- b) Melakukan studi literatur

Dalam penelitian ini di kutip beberapa referensi hal-hal yang menyangkut informasi dan data mengenai teori yang berkaitan dengan pokok permasalahan yang akan ditinjau dari beberapa sumber, baik dari literatur, jurnal, artikel maupun crossef dan google scholar.

Data Penelitian

1) Data Primer

Data yang dikumpulkan pada penelitian ini merupakan pengamatan lapangan secara informasi, yakni memperoleh data dari pihak proyek yang berhubungan dengan rencana proyek, seperti data Sondir.

1. Kedalaman Pondasi
: titik S-1 = 14,20 m
: titik S-2 = 14,20 m
2. Panjang Bore Pile

- : titik S-1 = 14 m
- : titik S-2 = 14 m
- 3. Diameter Pondasi : 40 cm
- 4. Keliling Bore Pile : . 402
: 125,66 cm \approx 1,25 m
- 5. Luas Penampang – : $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 4024$
Bore Pile : 1256,63 cm² \approx 12,56
- 6. Faktor Keamanan : standart 2,5 – 4 , yang diambil = 3
- 7. Jumlah Titik Sondir : 2 titik

2) Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang telah dikumpulkan, diolah, dan dipublikasikan oleh pihak lain sebelumnya, bukan oleh peneliti itu sendiri.

Metode Analisa Data

Metode analitis merupakan metode yang digunakan untuk menentukan besar resultan vector secara matematis dengan menggunakan sebuah metode atau rumus.

Adapun langkah-langkah dari perencanaan metode analitis adalah sebagai berikut:

1. Menghitung daya dukung pondasi bore pile menggunakan metode Mayerhoff dan Van Der Ween dari data sondir.
2. Menghitung efisiensi dan penurunan tiang pondasi dengan metode tersebut

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Menghitung Kapasitas Daya Dukung Bore Pile Berdasarkan Data Sondir Menggunakan Metode Mayerhoff

- Tahanan ujung persatuan luas (f_b) $q_{c1} = 4d$
 $= 4 \cdot 0,40$
 $= 1,60 - 14,20$
 $= 12,60 \text{ m}$

Tabel 4.1 Perkiraan nilai q_c pada titik S-1 untuk metode Mayerhoff

Kedalaman (m)	q_c (kg/cm ²)
12,20	12
12,40	10
12,60	10
12,80	8
13,00	10
13,20	8
13,40	12
13,60	21
13,80	25
14,00	25
14,20	30

$$q_{c1} = \frac{10+8+10+8+12+21+25+25+30}{9}$$

$$\begin{aligned} q_{c2} &= 16,55 \text{ kg/cm}^2 \approx 1655 \text{ kN/m}^2 \\ &= 1d \\ &= 1 \cdot 0,40 = 0,40 \\ &= 12,60 - 0,40 \\ &= 12,20 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 4.2 Perkiraan nilai q_{c1} pada titik S-1 untuk metode Mayerhoff

Kedalaman (m)	q_c (kg/cm ²)
12,60	10
12,80	8
13,00	10
13,20	8

13,40	12
13,60	21
13,80	25
14,00	25
14,20	30

Tabel 4.3 perkiraan nilai qc₂ pada titik (S-1) untuk metode Mayerhoff

Kedalaman (m)	qc (kg/cm ²)
12,20	12
12,40	10

Sumber : Data Sondir Pembangunan Puskesmas Kenangan

$$q_{c2} = \frac{12+10}{2} = 11 \text{ kg/cm}^2 \approx 1100 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} q_{ca} &= \frac{1}{2} (q_{c1} + q_{c2}) \\ &= \frac{1}{2} (16,55 + 11) \\ &= 27,55 \text{ kg/cm}^2 \approx 2755 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Karena $d = 0,4 \text{ m} < 0,5$ maka nilai $\omega_1 = 1$ dan $L > 10d$ maka nilai $\omega_2 = 1$ Maka, $\omega_1 \cdot \omega_2 \cdot q_{ca} = 1 \cdot 1 \cdot 2755 = 2755 \text{ kN/m}^2$ Untuk tiang bor diambil nilai f_b sebesar 70 % $f_b = 70\% \cdot 2755 = 1928,5 \text{ kN/m}^2$

1. Tahanan ujung (Q_b)

$$\begin{aligned} Q_b &= A_b \cdot f_b \\ &= \pi \cdot r^2 \cdot f_b \\ &= \pi \cdot 0,2^2 \cdot 1928,5 \\ &= 242,34 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

2. Tahanan gesek (Q_s)

$$f_s = K_c \cdot q_c \text{ (Nilai } K_c = 0,005)$$

$$fs_1 = 0,005 \cdot 6 = 3 \text{ kPa}$$

$$fs_2 = 0,005 \cdot 14 = 7 \text{ kPa}$$

$$fs_3 = 0,005 \cdot 16 = 8 \text{ kPa}$$

$$Q_s = \sum A_s \cdot f_s$$

$$= (\pi \cdot 0,4(3,2 - 0,2) \cdot 3) + (\pi \cdot 0,4(5,2 - 7,2) \cdot 7) + (\pi \cdot 0,4(14,2 - 12,2) \cdot 8)$$

3. Kuat dukung ultimate (Qu)

$$Q_u = Q_b + Q_s$$

$$= 242,34 + 49$$

$$= 242,34 + 49$$

$$= 97,11 \text{ kN} \approx 9,71 \text{ Ton}$$

4. Daya dukung ujung tiang (Qall)

$$Q_{all} = \frac{Q_b}{FK} + \frac{Q_s}{FK}$$

$$= \frac{242,34}{3} + \frac{49}{3} = 97,11 \text{ kN} \approx 9,71 \text{ Ton}$$

B. Menghitung Kapasitas Daya Dukung Bore Pile Berdasarkan Data Sondir Menggunakan Metode Van Der Ween Berdasarkan perhitungan daya dukung bore pile pada titik sondir (S-1) Kedalaman 14,20.

Tabel 4.4 Perkiraan nilai q_{ca} pada titik (S-1) untuk metode Van Der Ween

Kedalaman	Penetrasi Konus (qc)
12,40	10
12,60	10
12,80	8
13,00	10
13,20	8
13,40	12
13,60	21
13,80	25

14,00	25
14,20	30

Sumber : Data Sondir Pembangunan Puskesmas Kenangan

$$\begin{aligned}
 qc_1 &= 3,5d \\
 &= 3,5 \cdot 0,40 \\
 &= 1,40 \\
 &= 14,20 - 1,40 \\
 &= 12,80
 \end{aligned}$$

Tabel 4.5 Perkiraan nilai qc_1 pada titik (S-1) untuk metode Van Der Ween

Kedalaman	Penetrasi Konus (qc)
12,80	8
13,00	10
13,20	8
13,40	12
13,60	21
13,80	25
14,00	25
14,20	30

Sumber : Data Sondir Pembangunan Puskesmas Kenangan

$$\begin{aligned}
 qc_1 &= \frac{8+10+8+12+21+25+25+30}{4,5 \cdot 40} \\
 &= 0,77 \text{ kg/m}^2 \approx 77 \text{ kN/m}^2 \quad qc_2 = 1d \\
 &= 1,040 \\
 &= 0,40 \\
 &= 12,80 - 0,40 \\
 &= 12,40
 \end{aligned}$$

Tabel 4.6 Perkiraan nilai q_{c2} pada titik (S-2) untuk metode Van Der Ween

Kedalaman	Penetrasi Konus (qc)
12,40	10
12,60	10

Sumber : Data Sondir Pembangunan Puskesmas Kenangan

$$q_{c2} = \frac{10+10}{4,5 \cdot 40} = 0,1 \text{ kg/m}^2 \approx 10 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{c_a} = \frac{q_{c1}+q_{c2}}{2} = \frac{0,77+0,1}{2} = 0,87 \text{ kg/cm}^2 \approx 87 \text{ kN/m}^2$$

- a. Luas penampang pondasi

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$= 1256,63 \text{ cm}^2 \approx 12,56 \text{ m}^2$$

- b. Daya dukung ujung tiang (Q_p)

$$Q_p = \frac{q_c}{3 \cdot \alpha} A_p$$

$$= \frac{87}{3 \cdot 1,7} \cdot 12,56$$

$$= 214,25 \text{ kN/m}^2$$

- c. Daya dukung selimut tiang (Q_s)

$$Q_s = \frac{1}{2} \cdot P \cdot JHP$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 246$$

$$= 153,75 \text{ kN/m}^2$$

- d. Daya dukung ultimate (Q_u)

$$Q_u = Q_p + Q_s = 214,25 + 153,75$$

$$= 368 \text{ kN} \approx 36,8 \text{ Ton}$$

- e. Daya dukung ijin (Q_{all})

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS}$$

$$= \frac{368}{3} = 122,6 \text{ kN} \approx 12,26 \text{ Ton}$$

Tabel 4.7 Hasil daya dukung ultimate (Qu) dan daya dukung izin (Qall) menggunakan metode Van Der Ween

No	Titik Sondir	Q ult		Qall	
		kN	Ton	kN	Ton
1	Titik 1	368	36,8	122,6	12,26
2	Titik 2	481,89	48,18	160,63	16,06

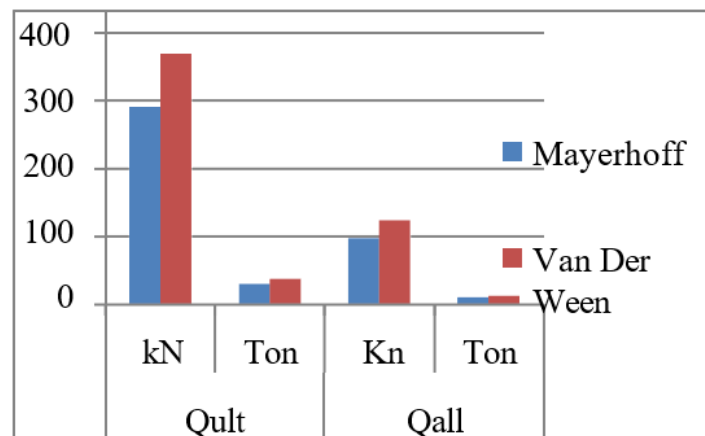
Perhitungan daya dukung menggunakan Metode Van Der Ween menunjukkan bahwa titik sondir S-2 memiliki kapasitas dukung tanah yang lebih baik. Daya dukung ijin (Qall) maksimum yang dicapai adalah 16,06 Ton (S-2), sedangkan daya dukung izin terendah adalah 12,26 Ton (S-1).

C. Perbandingan metode Mayerhoff dan Van Der Ween

Tabel 4.8 Perbandingan daya dukung ultimate (Qu) dan daya dukung ijin (Qall) antara metode Mayerhoff dan metode Van Der Ween pada titik S-1

Metode	Qult		Qall	
	kN	Ton	kN	Ton
Mayerhoff	291,34	29,13	97,11	9,71
Van Der Ween	368	36,8	122,6	12,21

Sumber : Penulis

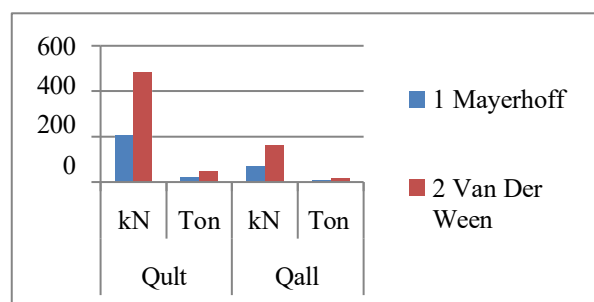


Gambar Grafik perbandingan daya dukung ultimate (Qu) dan daya dukung ijin (Qall) menggunakan metode Mayerhoff dan Van Der Ween pada titik S-1.

Tabel 4.9 Perbandingan daya dukung ultimate (Qu) dan daya dukung ijin (Qall) antara metode Mayerhoff dan metode Van Der Ween pada titik S-2

No.	Metode	Q ult		Qall	
		kN	Ton	kN	Ton
1	Mayerhoff	204,19	20,41	68,06	6,8
2	Van Der Ween	481,89	48,18	160,63	16,06

Sumber : Penulis



Gambar Grafik perbandingan daya dukung ultimate (Qu) dan daya dukung ijin (Qall) menggunakan metode Mayerhoff dan Van Der Ween pada titik S-2

Jadi, pada kedua titik uji (S-1 dan S-2), metode Van Der Ween menghasilkan nilai daya dukung ultimate (Qu) dan daya dukung ijin (Qall) yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode Mayerhoff.

D. Menghitung Penurunan Tiang Tunggal Menggunakan Data Sondir

Pada titik (S-1)

Panjang tiang = 14,20 m

Diameter = 0,4 m

Ab = . r²

= 3,14 . 0,2²

= 0,125 m²

S = S1 + S2 + S3

Menentukan S1

$$\begin{aligned} Q_{wp} &= Q_p - Q_s \\ &= 242,34 - 49 \\ &= 193,34 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{ws} &= Q_s \\ &= 54,66 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_p &= 4700\sqrt{26,5} \\ &= 24194,730 \text{ Mpa} \approx 24194730 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\alpha = 0,5$$

$$\begin{aligned} S1 &= \frac{Q_{wp} + \alpha + Q_{ws} \cdot L}{A_b \cdot E_p} \\ &= \frac{193,34 + 0,5 + 49 \cdot 14,20}{0,125 \cdot 24194730} \\ &= 0,000294 \text{ m} \end{aligned}$$

Menentukan S2

$$\begin{aligned} q_{wp} &= \frac{Q_{wp}}{A_b} \\ &= \frac{193,34}{0,125} \\ &= 1546,72 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$E_s = 1023,67 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} E_b &= 10 \cdot E_s \\ &= 10 \cdot 1023,67 \\ &= 10236,7 \end{aligned}$$

$$\mu_s^2 = 0,45$$

$$I_{wp} = 0,85$$

$$\begin{aligned} S2 &= \frac{q_{wp} \cdot D}{E_b} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \\ &= 0,028254 \text{ m} \end{aligned}$$

Menentukan S3

$$\begin{aligned} P &= 2 \pi r \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot 0,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,25 \text{ m} \\
 Iws &= 2 + 0,35 \sqrt{\frac{14,2}{0,4}} \\
 &= 4,085 \\
 S3 &= \frac{Qws}{P \cdot L} \cdot \frac{D}{Es} (1 - \mu s^2) Iws \\
 &= \frac{49}{1,25 \cdot 14,20} \cdot \frac{0,4}{1023,67} (1 - 0,45) 4,085 \\
 &= 0,002423 \\
 S &= S1 + S2 + S3 \\
 &= 0,000294 + 0,028254 + 0,002423 \\
 &= 0,030971 \text{ m} \approx 30,97 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Penurunan yang diizinkan

$$\begin{aligned}
 \text{Stotal} &< \text{Sijin} \\
 0,030971 &< 10\% \cdot D \\
 0,030971 &< 10\% \cdot 0,4 \\
 0,030971 &< 0,04 \text{ (Aman)}
 \end{aligned}$$

Pada titik (S-2)

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang tiang} &= 14,20 \text{ m} \\
 \text{Diameter} &= 0,4 \text{ m} \\
 \text{Ab} &= . r^2 \\
 &= 3,14 \cdot 0,22 \\
 &= 0,125 \text{ m}^2 \\
 S &= S1 + S2 + S3
 \end{aligned}$$

Menentukan S1

$$\begin{aligned}
 Qwp &= Qp - Qs \\
 &= 149,53 - 54,66 \\
 &= 94,87 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Qws &= Qs \\
 &= 54,66 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Ep} = 4700\sqrt{26,5}$$

$$= 24194,730 \text{ Mpa} \approx 24194730 \text{ kN/m}^2$$

$$\alpha = 0,5$$

$$\begin{aligned} S1 &= \frac{Q_{wp} + \alpha + Q_{ws} \cdot L}{A_b \cdot E_p} \\ &= \frac{94,87 + 0,5 + 54,66 \cdot 14,20}{0,125 \cdot 24194730} \\ &= 0,000288 \text{ m} \end{aligned}$$

Menentukan S2

$$\begin{aligned} q_{wp} &= \frac{Q_{wp}}{A_b} \\ &= \frac{94,87}{0,125} \\ &= 758,96 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$E_s = 1023,67 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} E_b &= 10 \cdot E_s \\ &= 10 \cdot 1023,67 \\ &= 10236,7 \end{aligned}$$

$$\mu_s^2 = 0,45$$

$$\begin{aligned} I_{wp} &= 0,85 \\ &= \frac{q_{wp} \cdot D}{E_b} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \\ &= \frac{758,96 \cdot 0,4}{10236,7} (1 - 0,45) 0,85 \\ &= 0,013773 \text{ m} \end{aligned}$$

Menentukan S3

$$\begin{aligned} P &= 2 \pi r \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot 0,2 \\ &= 1,25 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{ws} &= 2 + 0,35 \sqrt{\frac{14,20}{0,4}} \\ &= 4,085 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S3 &= \frac{Q_{ws} \cdot D}{P \cdot L \cdot E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} \\ &= \frac{54,66}{1,25 \cdot 14,20 \cdot 1023,67} (1 - 0,45) 4,085 \\ &= 0,002703 \text{ m} \end{aligned}$$

$$S = S1 + S2 + S3$$

$$= 0,000288 + 0,013773 + 0,002703$$

$$= 0,016764 \text{ m} \approx 16,76 \text{ mm}$$

Penurunan yang diizinkan

Stotal < Sijin

0,016764 < 10% . 0,4

0,016764 < 0,04 (Aman)

Tabel 4.10 Hasil penurunan pada Mayerhoff

No	Titik Sondir	Penurunan	
		m	Mm
1	1	0,03097	30,97
2	2	0,01676	16,76

Hasil penurunan metode Mayerhoff pada titik (S-1) sebesar 0,03097 m , dan titik (S-2) sebesar 0,01676 m, berada dalam batas toleransi yang diizinkan untuk pondasi tiang tunggal, sehingga dapat dinyatakan aman.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan mengenai perhitungan kapasitas daya dukung pondasi bore pile pada proyek *Pembangunan Puskesmas Kenangan Perumnas Mandala Kab. Deli Serdang* dengan menggunakan data sondir (CPT) serta metode analitis Mayerhoff dan Van Der Ween, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil perhitungan perbandingan daya dukung,
 - Pada titik (S-1) daya dukung ultimate (Qult) metode Mayerhoff menghasilkan nilai daya dukung sebesar 29,13 Ton dan metode Van Der Ween sebesar 36,8 Ton.
 - Pada titik (S-2) metode Mayerhoff menghasilkan nilai daya dukung sebesar 20,41 Ton dan Metode Van Der Ween sebesar 48,18 Ton.

Jadi perbandingan antara metode Mayerhoff dan metode Van Der Ween yang memiliki nilai daya dukung ultimate (Qult) terbesar adalah metode Van Der Ween. Dengan demikian, metode Van Der Ween dapat dijadikan acuan apabila dibutuhkan kapasitas

yang lebih konservatif terhadap beban.

2. Berdasarkan hasil perhitungan penurunan yang diizinkan,
 - Metode Mayerhoff pada titik (S-1) menghasilkan nilai penurunan sebesar 0,03097 mm pada titik (S-2) menghasilkan nilai penurunan sebesar 0,01676 mm.
 - Sedangkan metode Van Der Ween pada titik (S-1) menghasilkan nilai penurunan sebesar 0,01718 mm dan pada titik (S-2) menghasilkan nilai penurunan sebesar 0,02834 mm.

Jadi, hasil titik S-1 dan S-2 penurunan yang dihitung berada di dalam batas toleransi (Stotal)

\leq (Sijin), maka penurunan yang terjadi tidak menimbulkan risiko terhadap kestabilan pondasi maupun struktur bangunan di atasnya.

3. Penyebabkan hasil perhitungan daya dukung pondasi Bore Pile berdasarkan data sondir/CPT menggunakan Metode Mayerhoff dan Metode Van Der Ween berbeda terletak pada rumus empiris yang digunakan untuk menghitung dua komponen utama daya dukung, yaitu Daya Dukung Ujung Tiang (Q_p) dan Daya Dukung Gesek/Selimut (Q_s).

Saran

Berdasarkan pada proses analisis kapasitas daya dukung pondasi bore pile agar mendapatkan hasil analisis yang lebih optimal maka disarankan beberapa hal sebagai berikut.

1. Perencanaan pondasi harus melakukan validasi lapangan melalui uji beban statis (Static Load Test / SLT). Pengujian ini sangat penting untuk memastikan bahwa nilai daya dukung yang dihitung secara teoritis benar-benar sesuai dengan kondisi aktual tanah dilapangan.
2. Memahami konsep mengenai analisis kapasitas daya dukung pondasi bore pile agar lebih memudahkan dalam proses analisa.
3. Memperbanyak melakukan analisis kapasitas daya dukung pondasi bore pile dengan berbagai metode lainnya agar mendapatkan nilai kapasitas yang lebih akurat.
4. Memahami kesesuaian dan kelengkapan data yang digunakan dalam analisis dengan memperbanyak literasi agar hasil analitis menjadi lebih tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus Mahmudi, May Tirta Hartono Putri, Tri Wardoyo., 2023. Analisa Perbandingan Daya Dukung Pondasi Bore Pile Berdasarkan Data Sondir Dan Pile Driving Analyzer Test Pada Proyek Pengembangan Gedung J Universitas Kristen Petra Surabaya. Jurnal Teknik Sipil. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- Akbar Setyo Romadhoni dan Drs. H. Api Medan Binjai. Jurnal Karya Teknik
- Machfud Ridwan, MT., 2022. Analisa Sipil, Universitas Islam Sumatera Utara Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Nurhidayati Mahfud, S.Pd, M.T dan Pancang Dibandingkan Dengan Daya Masrul Huda, M.A., 2020. Analisa Daya Dukung Hydraulic Jacking System Pada Dukung Pondasi Tiang Pancang. Jurnal Proyek Pembangunan Gedung B Lpmp Inovasi Teknik Sipil. Yogyakarta: Provinsi Jatim. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Teknologi Yogyakarta. Teknik Sipil. Malang Universitas.
- Rahardjo, P. P., & Haryanto, T. 2013. Brawijaya. Analisis Daya Dukung Tiang Tunggal Badan Standardisasi Nasional., 2013. SNI Berdasarkan Data Sondir. Jurnal Teknik 2847:2013: Persyaratan Beton Struktural Sipil, 20(3), 169-178. Bandung: Institut untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Teknologi Bandung Standardisasi Nasional. Sosarodarsono, S. & Nakazawa, K., Bowles, J. E., 1997. Analisis dan Desain 1983. Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi. Jakarta: Erlangga. Pondasi. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Bowles, J. E., 1984. Analisa Dan Disain Zhang, J., & Tumay, M. 2012. Cone Pondasi Jilid 2. Jakarta: Erlangga. Penetration Testing in Geotechnical
- Darwis, H., 2018. Dasar-Dasar Mekanikah Tanah. Edisi Pertama. Yogyakarta
- Das, BM (1995). Prinsip-prinsip Rekayasa Pondasi (edisi ke-3). Boston: PWS Publishing Company.
- Gunawan, R., 1983. Pengantar Teknik Pondasi. Yogyakarta: Kanisius (Anggota IKAPI).
- Hardiyatmo, H. C., 2010. Analisa dan Perancangan Fondasi I, Edisi kedua., Yogyakarta: Gadjah Mada University.. ardiyatmo, H. C., 2011. Analisis dan Perencanaan Fondasi II. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C., 2011. Analisis dan Perencanaan Fondasi II. Yogyakarta
- Hendra Cahyadi, Akhmad Gazali, Firman Al-Hakim., 2020 Analisis Daya Dukung Pondasi

Bore Pile Berdasarkan Data Sondir Pada Proyek Pembangunan Instalasi Ibu Kota Kecamatan (IKK) Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) kabupaten tanah laut. Jurnal Karya Teknik Sipil. Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat.

Hulu, H. B., 2015. Analisa Daya Dukung Pondasi Bored Pile Dengan Menggunakan Metode Analitis (Studi Kasus Proyek Manhattan Mall Dan Condominium). Jurnal Teknik Sipil Usu Vol. 4 NO. 1. Lamroy David M., Jupriah Sarifah, Ronal

H. T. Simbolon. "Evaluasi Kapasitas Daya Dukung Bore Pile Tiang Tunggal dan Kelompok Pada Proyek Pembangunan Box Culvert BH 14A, 14B Lintas Kereta Practice. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons