

Tinjauan Daya Dukung Fondasi Tiang Bor Terhadap Struktur DPT Ruas Jalan Kilang, Kecamatan Leitimur Selatan

Alfa Cevin Pesiwarissa¹, Vera Th. C. Siahaya², Sjafrudin Latar³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Ambon, Indonesia

Corresponding Author

Nama Penulis: Alfa Cevin Pesiwarissa

E-mail: alfacevin@gmail.com

Abstrak

Struktur dinding penahan tanah pada ruas jalan Desa Kilang, Kecamatan Leitimur Selatan menggunakan fondasi tiang bor. Pada perencanaan didesain tiang sepanjang 3,00 m, sebanyak 14 buah tiang. Namun pada pelaksanaannya terjadi penambahan volume tiang menjadi 3,20 m dengan penambahan jumlah tiang sebanyak 16 tiang. Diketahui bahwa dalam perencanaan tidak didahului dengan penyelidikan tanah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kapasitas dukung fondasi tiang bor dan penurunan segera yang terjadi akibat beban yang bekerja, berdasarkan penyelidikan data tanah pada lokasi penelitian. Dari hasil penyelidikan tanah diperoleh beberapa parameter tanah yaitu, $\phi' = 38,35^\circ$ dan $N = 27,26$. Dengan memakai metode Reese dan O'Neil, diperoleh daya dukung fondasi tiang tunggal rencana untuk $Q_{al} = 54,03$ kN. Dengan memperhatikan efisiensi grup, daya dukung fondasi kelompok tiang diperoleh $Q_{al} = 557,73$ kN. Penurunan yang terjadi setelah penerapan beban = 0,080 m. Perubahan pada volume fondasi tiang dan penambahan jumlah tiang, tidak diperlukan. Dari volume fondasi tiang yang direncanakan, diperoleh $SF = 9,75$ (untuk tiang tunggal) dan $SF = 3,97$ (untuk kelompok tiang).

Kata kunci - fondasi tiang bor, dinding penahan tanah, kapasitas dukung

Abstract

The structure of the retaining wall on the road section of Kilang village, Leitimur Selatan district uses the bored pile foundation. In the planning designed piles along 3.00 m, as many as 14 piles. But in its implementation there was an increase in the volume of the pile to 3.20 m with the addition of the number of pile as many as 16 piles. It is known that in planning it is not preceded by a soil investigation. The purpose of the research is to analysis the bearing capacity of the bored pile foundation and the immediate settlement that occurred due to the working load, based on the investigation of soil data at the research site. From the results of the soil investigation, several soil parameters were obtained, $\phi' = 38.35^\circ$ and $N = 27.26$. By using the method of Reese and O'Neil, the bearing capacity of the single pile foundation design for $Q_{al} = 54.03$ kN is obtained. By considering the group efficiency, the bearing capacity of the pile group foundation is obtained $Q_{al} = 557.73$ kN. The decrease that occurs after the application of the load = 0.080 m. The volume changing of the pile foundation and the addition of the number of piles, are not required. From the volume of the planned pile foundation, $SF = 9.75$ (for single pile) and $SF = 3.97$ (for pile group).

Keywords - bored pile foundation, retaining wall, bearing capacity

PENDAHULUAN

Struktur dinding penahan tanah pada ruas jalan Desa Kilang, Kecamatan Leitimur Selatan, Kota Ambon, Provinsi Maluku, yang merupakan prasarana transportasi penghubung Kota Ambon dengan 4 desa di Kecamatan Leitimur Selatan. Akibat intensitas hujan yang tinggi mengakibatkan kondisi tanah jenuh air dan kekuatan tanah berkurang, sehingga terjadi pergerakan tanah pada lokasi tersebut, yang meliputi sebagian ruas jalan sepanjang ± 20 meter, dengan kedalaman longsoran 9 – 10 meter dari permukaan as jalan. Mengantisipasi hal tersebut, BPBD Kota Ambon merehabilitasi struktur dinding penahan tanah tersebut dengan tipe yang sebelumnya adalah dinding gravitasi dari pasangan batu menjadi dinding semi gravitasi dari beton bertulang dengan kombinasi kolom dan balok dan menggunakan fondasi tiang bor (bored pile).

Desain fondasi tiang bor yang dirancang untuk menahan beban struktur tersebut, direncanakan oleh konsultan perencana sebanyak 14 tiang dengan kedalaman tiang sepanjang 3,0 meter. Dalam pelaksanaan proyek tersebut, terjadi perubahan pekerjaan fondasi yang mana kedalaman tiang ditambah menjadi 3,2 meter dan penambahan jumlah tiang menjadi 16 tiang. Perubahan-perubahan dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi lazim terjadi, namun karena dibatasi pada nilai kontrak, penambahan volume pada pekerjaan fondasi juga berdampak pada pengurangan volume dan/atau penghapusan item-item pekerjaan lain, yang tentu dapat mempengaruhi mutu pekerjaan. Diketahui ternyata perubahan tersebut didasarkan pada tidak adanya penyelidikan tanah pada lokasi pekerjaan. Adanya data penyelidikan tanah sangat diperlukan dalam perancangan fondasi. Dari penyelidikan tanah untuk memperoleh data geoteknik, dapat ditentukan karakteristik tanah, kondisi lapisan tanah, tipe fondasi, kedalaman fondasi, dan memprediksi besarnya penurunan akibat penerapan beban. Dengan demikian maka perlu ditinjau daya dukung fondasi tiang bor terhadap struktur dinding penahan tanah pada ruas jalan, Desa Kilang secara teoritis untuk mengetahui kemampuan fondasi dalam menahan beban yang bekerja, dengan data-data hasil penyelidikan lapangan serta korelasi empiris hasil penyelidikan tanah.

Dengan demikian maka perlu ditinjau daya dukung fondasi tiang bor terhadap struktur dinding penahan tanah pada ruas jalan, Desa Kilang secara teoritis untuk mengetahui kemampuan fondasi dalam menahan beban yang bekerja, dengan data-data hasil penyelidikan lapangan serta korelasi empiris hasil penyelidikan tanah.

TINJAUAN PUSTAKA

Fondasi

Fondasi sebagai suatu bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas (upper structure) ke dasar tanah yang cukup kuat mendukungnya. Untuk tujuan itu fondasi bangunan harus diperhitungkan dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban bangunan dan gaya-gaya luar (Hardiyatmo, 2020). Fondasi tiang bor sendiri merupakan fondasi tiang yang dicor ditempat dengan lebih dulu mengebor tanah hingga mencapai kedalaman rencana, baru kemudian besi tulangan fondasi dimasukan dan di cor dengan beton (Hardiyatmo, 2018).

Kapasitas Dukung

Analisis kapasitas dukung (bearing capacity) mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban fondasi dari struktur yang terletak di atasnya. Kapasitas dukung menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah sepanjang bidang-bidang gesernya (Hardiyatmo, 2020). Syarat-syarat yang harus terpenuhi dalam perancangan fondasi adalah:

1. Faktor aman terhadap keruntuhan akibat terlampauinya kapasitas dukung tanah harus dipenuhi. Dalam hitungan kapasitas dukung, umumnya digunakan faktor aman 3.

2. Penurunan fondasi harus masih dalam batas-batas nilai yang ditoleransikan. Khususnya penurunan yang tidak seragam (*differential seattlement*) harus mengakibatkan kerusakan pada struktur.

Untuk tanah pasir, sudut geser dalam biasanya berkisar antara $26^\circ - 45^\circ$, tergantung dari kepadatan relatifnya. Hubungan nilai N dengan kerapatan relatif tanah pasir & sudut geser dalam tanah efektif (ϕ'), untuk pasir oleh Terzaghi dan Peck (1948) dalam Das & Sivakugan, (2019) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1

Hubungan nilai N dengan kerapatan relatif dan sudut geser dalam pasir

Kepadatan Tanah	Nilai N	Kerapatan Relatif, (%)	Sudut Geser, (ϕ')
Sangat tidak padat	< 4	< 15	< 28
Tidak padat	4 – 10	15 – 35	28 – 30
Kepadatan sedang	10 – 30	35 – 65	30 – 36
Padat	30 – 50	65 – 85	36 – 41
Sangat Padat	> 50	> 85	> 41

Sumber : Das & Sivakugan (2019)

Teferra (1975) dalam Das & Sivakugan (2019) menyarankan korelasi empiris berdasarkan banyak pengujian, untuk tanah pasir:

$$\phi' = \tan^{-1} \left(\frac{1}{ae + b} \right) \dots\dots\dots \text{(Persamaan 1)}$$

dengan,

$$\begin{aligned} e &= \text{angka pori} \\ a &= 2,101 + 0,097 \left(\frac{D_{85}}{D_{15}} \right) \\ b &= 0,845 - 0,398a \end{aligned}$$

Sudut gesek dalam tanah biasanya diambil dari nilai N hasil uji SPT. Sebagai pendekatan nilainya dapat diperoleh dari persamaan oleh Kishida (1967) dalam Hardiyatmo (2018), sebagai berikut:

$$\phi' = \sqrt{20 N} + 15^\circ \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2)}$$

Hitungan kapasitas dukung harus selalu mempertimbangkan sifat-sifat permeabilitas tanah. Untuk tanah yang berpermeabilitas rendah (tanah berbutir halus: lempung), analisis kapasitas dukung dalam keadaan kritis terjadi pada kondisi jangka pendek atau segera sesudah selesai pelaksanaan. Untuk ini, analisis harus didasarkan pada kondisi tak terdrainase (*undrained*) dengan menggunakan parameter tegangan total (c_u dan ϕ_u). Untuk tanah-tanah yang berpermeabilitas tinggi (tanah berbutir kasar: pasir), karena air dapat terdrainase segera sesudah penerapan bebannya, maka analisis stabilitas fondasi pada kedudukan kritis harus didasarkan pada kondisi terdrainase (*drained*), yaitu dipakai parameter-parameter tegangan efektif (c' dan ϕ'). (Hardiyatmo, 2020)

Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor

Kapasitas dukung ultimit neto tiang (Q_u), adalah jumlah dari tahanan ujung (Q_b) bawah tiang, dan tahanan gesek ultimit (Q_s) antara sisi tiang dan tanah di sekitarnya, dikurangi berat sendiri tiang (W_f).

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_f \dots\dots\dots \text{(Persamaan 3)}$$

dengan,

- Q_u = kapasitas dukung ultimit neto (kN)
 Q_b = tahanan ujung bawah ultimit (kN)
 Q_s = tahanan gesek ultimit (kN)
 W_p = berat sendiri tiang (kN)

Metode O'Neill dan Reese

Tahanan ujung ultimit

O'Neill dan Reese (1989) dalam Hardiyatmo (2018) merekomendasikan tahanan ujung tiang bor pada penurunan 5% dari diameter dasar tiang pada pasir, sebagai berikut:

- $f_b = 0,60N$, untuk $N \leq 75$ (Persamaan 4)
 $f_b = 45$, untuk $N > 75$ (Persamaan 5)

dengan,

- f_b = tahanan ujung neto per satuan luas (tsf, 1 tsf = 105,6 kPa)
 N = nilai N (pengujian SPT)

Tahanan ujung ultimit:

- $Q_b = A_b f_b$ (Persamaan 6)

dengan,

- A_b = luas dasar tiang bor (m^2)

Tahanan gesek ultimit

Tahanan gesek satuan tiang bor dalam pasir dinyatakan oleh:

- $f_s = \beta p_o'$ (Persamaan 7)
 $\beta = K \tan \delta$ (Persamaan 8)

dengan,

- f_s = tahanan gesek satuan (kN/m^2)
 p_o' = tekanan overburden di tengah-tengah lapisan tanah (kN/m^2)
 δ = sudut gesek antara tanah dan tiang ($^\circ$)

Metode ini disebut dengan metode β . Nilai K/K_o ditunjukkan pada Tabel 2 dan rasio δ/ϕ' ditunjukkan pada Tabel 3 oleh Kulhawy (1991) dalam Hardiyatmo (2018).

Tabel 2
Nilai-nilai K/K_o untuk tiang bor

Metode pelaksanaan	K/K_o
Pelaksanaan kering dengan gangguan dinding lubang bor kecil, pengecoran cepat	1
Pelaksanaan dengan cairan – cara kerja baik	1
Pelaksanaan dengan cairan – cara kerja buruk	0,67
Dengan pipa selubung di bawah air	0,83

Sumber : Hardiyatmo (2018)

Nilai K berlaku untuk kedalaman tiang $>10 \times$ diameter disarankan oleh Touma dan Reese (1974) dalam Hardiyatmo (2018):

- $K = 1$ untuk $d_b = 1,67$ ft (Persamaan 9a)
 $K = 0,6$ untuk $d_b \leq 1,67$ ft (Persamaan 9b)

Tabel 3
Nilai-nilai rasio δ/φ' untuk tiang bor

Metode pelaksanaan	δ/φ'
Lubang terbuka atau dengan pipa selubung sementara	1
Metode dengan cairan (<i>slurry method</i>) – <i>minimum slurry cake</i>	1
Metode dengan cairan (<i>slurry method</i>) – <i>maximum slurry cake</i>	0,8
Pipa selubung permanen	0,7

Sumber : Hardiyatmo (2018)

Tahanan gesek ultimit:

$$Q_s = A_s f_s \dots\dots\dots \text{(Persamaan 10)}$$

dengan,

$$A_s = \text{luas selimut sepanjang tiang (m}^2\text{)}$$

Faktor aman tiang bor (F)

Nilai-nilai faktor aman untuk tiang bor yang disarankan oleh Coduto (2001) dan Hannigan et al. (1997) dalam Hardiyatmo (2018) ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4
Faktor aman untuk tiang bor

Uji beban Statis	Kondisi Tanah	Program penyelidikan Lokasi	Beban ke bawah (tiang tekan)	Beban ke bawah (tiang tarik)
Ya	Seragam	Teliti	2,0*	3,0*
Ya	Tak teratur	Rata-rata	2,5	4,0
Tidak	Seragam	Teliti	2,5	5,0
Tidak	Seragam	Rata-rata	3,0	6,0
Tidak	Tak teratur	Teliti	3,0	6,0
Tidak	Tak teratur	Rata-rata	3,5	6,0

* Jika uji beban statis sangat teliti dan kondisi sifat-sifat tanah dapat didefinisikan dengan baik, faktor aman beban ke bawah dapat direduksi 1,7 kalinya dan beban ke atas 2,5 kalinya.

Sumber : Hardiyatmo (2018)

Hitungan gaya yang bekerja

Hitungan besarnya gaya yang bekerja pada tiang tunggal di kelompoknya dilakukan secara analisis, dengan anggapan kelompok tiang sebagai suatu sistem statis tertentu dengan mengabaikan pengaruh tanah, dan tiang-tiang dianggap hanya menahan gaya tekan dan tarik serta pelat penutup tiang dianggap sangat kaku. Tiang-tiang dianggap hanya menerima gaya vertikal. Beban vertikal pada masing-masing tiang dihitung dengan persamaan: (Hardiyatmo, 2018)

$$Q_v = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y x}{\sum x^2} \pm \frac{M_x y}{\sum y^2} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 11)}$$

dengan,

$$Q_v = \text{beban vertikal pada masing-masing tiang (kN)}$$

$$n = \text{jumlah tiang}$$

$$x, y = \text{jarak tiang terhadap sumbu } y \text{ dan } x \text{ (m)}$$

$$V = \text{jumlah beban vertikal pada kelompok tiang (kN)}$$

$$M_x, M_y = \text{momen terhadap sumbu } x \text{ dan } y \text{ (kN.m)}$$

Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

Kelompok tiang

Pertimbangan dalam perhitungan kapasitas kelompok tiang:

- Jika kapasitas kelompok tiang (Q_g) lebih kecil daripada kapasitas tiang tunggal keseluruhan (nQ_u), maka kapasitas dukung fondasi tiang yang dipakai adalah kapasitas kelompok tiang (Q_g).
- Sebaliknya, bila dari hitungan kapasitas kelompok tiang (Q_g) lebih besar, maka dipakai kapasitas tiang tunggal keseluruhan (nQ_u)

Efisiensi kelompok tiang

Persamaan efisiensi kelompok tiang yang disarankan oleh *Converse-Labarre formula*, dalam Hardiyatmo (2018) sebagai berikut:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90 mn'} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 12)}$$

dengan,

- E_g = efisiensi kelompok tiang
- m = jumlah baris tiang
- n' = jumlah tiang dalam satu baris
- θ = arc tg d/s, ($^\circ$)
- s = jarak antara pusat tiang (m)
- d = diameter tiang (m)

Kapasitas dukung ultimit kelompok tiang dengan memperhatikan faktor efisiensi tiang dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$Q_g = E_g n Q_u \dots\dots\dots \text{(Persamaan 13)}$$

Penurunan Segera (*immediate settlement*)

Tanah homogen dengan tebal tak terhingga

Penurunan segera/penurunan elastis dari fondasi yang terletak di permukaan tanah yang homogen, elastis, isotropis pada media semi tak terhingga dalam Hardiyatmo (2020), dinyatakan oleh:

$$S_i = \frac{qB}{E} (1 - \mu^2) I_p \dots\dots\dots \text{(Persamaan 14)}$$

dengan,

- S_i = penurunan segera (m)
- q = tekanan pada dasar fondasi (kN/m²)
- B = lebar fondasi (m)
- E = modulus elastis (kN/m²)
- μ = rasion poisson
- I_p = faktor pengaruh

Perkiraan modulus elastis oleh Look (2007) dalam Hardiyatmo (2020) dapat dilihat dalam Tabel 5.

Tabel 5
Perkiraan modulus elastis

Tipe	Kondisi	Modulus Elastisitas (kPa)	
Kerikil	Longgar	25.000 – 50.000	
	Kepadatan sedang	50.000 – 100.000	
	Padat	100.000 – 200.000	
Pasir butiran sedang sampai kasar	Sangat longgar	<5.000	
	Longgar	3.000 – 10.000	
	Kepadatan sedang	8.000 – 30.000	
	Padat	25.000 – 50.000	
Pasir halus	Sangat padat	40.000 – 100.000	
	Longgar	5.000 – 10.000	
	Kepadatan sedang	10.000 – 25.000	
	Padat	25.000 – 50.000	
Lanau	Lunak	Jangka pendek: <10.000	Jangka panjang: <8.000
	Kaku	10.000 – 20.000	8.000 – 15.000
	Keras	>20.000	>15.000
Lempung	Sangat lunak	Jangka pendek <3.000	Jangka panjang: <2.000
	Lunak	2.000 – 7.000	1.000 – 5.000
	Sedang	5.000 – 12.000	4.000 – 8.000
	Kaku	10.000 – 25.000	7.000 – 20.000
	Sangat kaku	20.000 – 50.000	15.000 – 35.000
	Keras	40.000 – 80.000	30.000 – 60.000

Sumber : Hardiyatmo (2020)

Untuk perkiraan rasion poisson (μ), Bowles (1968) dalam Hardiyatmo (2020) memperkirakan rasio poisson seperti pada Tabel 6:

Tabel 6
Perkiraan rasio poisson (μ)

Jenis tanah	μ
Lempung jenuh	0,40 – 0,50
Lempung tak jenuh	0,10 – 0,30
Lempung berpasir	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasir padat	0,20 – 0,40
Pasir kasar (e = 0,40 – 0,70)	0,15
Pasir halus (e = 0,40 – 0,70)	0,25
Batu (agak tergantung dari jenisnya)	0,10 – 0,40
Loess	0,10 – 0,30

Sumber : Hardiyatmo (2020)

Tabel 7

Faktor pengaruh I_m (Lee, 1962) dan I_p (Schleicher, 1962) untuk fondasi kaku, dan I_p (Terzaghi, 1943) dalam Hardiyatmo (2020) untuk fondasi fleksibel

Bentuk fondasi	Fleksibel I_p			Kaku	
	Pusat	Sudut	Rata-rata	I_p	I_m
Lingkaran	1,00	0,64	0,85	0,88*	
Bujur sangkar	1,12	0,36	0,95	0,82	3,70
Empat persegi panjang					
$L/B = 1,50$	1,36	0,68	1,20	1,06	4,12
2,00	1,53	0,77	1,31	1,20	4,38
5,00	2,10	1,05	1,83	1,70	4,82
10,00	2,52	1,26	2,25	2,10	4,93
100,00	3,38	1,69	2,96	3,40	5,06

*Peneliti yang lain menggunakan faktor pengaruh fondasi lingkaran yang kaku $0,79 = \pi/4$.
Sumber : Hardiyatmo (2020)

Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Tekanan tanah lateral

Untuk tekanan tanah aktif di belakang dinding dinyatakan oleh persamaan:

$$P_a = 0,5H^2\gamma K_a \dots\dots\dots (\text{Persamaan 15a})$$

dengan,

$$K_a = tg^2(45 - \frac{\varphi}{2}) \dots\dots\dots (\text{Persamaan 15b})$$

Untuk tekanan tanah aktif efektif, akibat beban diatas urugan tanah dinyatakan oleh persamaan:

$$P_a = qH\gamma K_a \dots\dots\dots (\text{Persamaan 15c})$$

Untuk tekanan tanah pasif, dinyatakan oleh persamaan:

$$P_p = 0,5H^2\gamma K_p \dots\dots\dots (\text{Persamaan 15d})$$

dengan,

$$K_p = tg^2(45 + \frac{\varphi}{2}) \dots\dots\dots (\text{Persamaan 15e})$$

Stabilitas terhadap pergeseran

Faktor yang mempegaruhi stabilitas geser adalah:

- Gesekan tanah dengan dasar fondasi
- Tekanan tanah pasif

Faktor aman terhadap geser (F_{gs}), didefenisikan sebagai:

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 16})$$

Untuk tanah granular ($c = 0$): $\sum R_h = Wf$

dengan,

- $\sum R_h$ = tahanan dinding penahan tanah terhadap pergeseran
- W = berat total dinding dan tanah di atas pelat fondasi (kN)
- δ_b = sudut gesek tanah dengan dasar fondasi
- f = koefisien gesek tanah dasar dengan dasar fondasi.
- $\sum P_h$ = jumlah gaya-gaya horizontal (kN)

Bowles (1997) dalam Hardiyatmo (2020) menyarankan faktor aman terhadap pergeseran dasar fondasi untuk tanah granular $F_{gs} \geq 1,5$. Nilai-nilai koefisien gesek (f) menurut AREA (1958) dalam Hardiyatmo (2020) dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8
Koefisien gesek (f) antara dasar fondasi dengan tanah dasar

Jenis tanah dasar fondasi	$f = tg \delta$
Tanah granular kasar tak mengandung lanau atau lempung	0,55
Tanah granular kasar mengandung lanau	0,45
Tanah lanau tak berkoheisi	0,35
Batu keras permukaan kasar	0,60

Sumber : Hardiyatmo (2020)

Stabilitas terhadap penggulingan

Penggulingan dengan pusat rotasi di ujung kaki depan pelat fondasi, sebagai akibat tekanan tanah lateral dibelakang fondasi, direduksi oleh momen akibat berat sendiri dan momen akibat berat tanah di atas pelat fondasi.

Faktor aman terhadap guling (F_{gl}) didefinisikan sebagai:

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 17)}$$

dengan,

$\sum M_{gl}$ = momen yang melawan penggulingan (kN.m)

$\sum M_w$ = momen yang mengakibatkan penggulingan (kN.m)

Dalam Hardiyatmo (2020) faktor aman terhadap penggulingan untuk tanah granular $F_{gl} \geq 1,5$.

Stabilitas terhadap keruntuhan daya dukung tanah

Daya dukung ultimit untuk fondasi persegi panjang pada tanah pasir ($c=0$) oleh Terzaghi dalam Hardiyatmo (2020):

$$q_u = p_o N_q + 0,5 \gamma_b B N_\gamma (1 - 0,2 B/L) \dots\dots\dots \text{(Persamaan 18)}$$

dengan,

B = lebar fondasi (m)

L = panjang fondasi (m)

p_o = tekanan *overburden* pada dasar fondasi

D_f = kedalaman fondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

N_q, N_γ = faktor-faktor kapasitas dukung

Eksentrisitas pada dasar fondasi oleh beban-beban terfaktor:

$$e = B/2 - x ; e \leq B/6 \dots\dots\dots \text{(19a)}$$

$$x = \frac{\sum M_w - \sum M_{gl}}{\sum W} \dots\dots\dots \text{(19b)}$$

dengan,

e = eksentrisitas (m)

B = lebar dasar fondasi (m)

$\sum M_w$ = momen total akibat berat sendiri (kN.m)

$\sum M_{gl}$ = momen total yang mengakibatkan penggulingan (kN.m)
 $\sum W$ = beban total struktur sendiri (kN)

Lebar fondasi dindiing penahan tanah (B) sebaiknya dibuat sedemikian rupa sehingga eksentrisitas (e) $< (B/6)$. Hal ini dimaksudkan agar efisiensi fondasi maksimum dan perbedaan tekanan fondasi pada ujung-ujung kaki dinding tidak besar, sehingga dapat mengurangi resiko keruntuhan dinding akibat penggulingan. (Hardiyatmo, 2020)

Usulan nilai-nilai faktor daya dukung oleh Meyerhof (1963) dalam Hardiyatmo (2020) ditunjukkan dalam Tabel 9.

Tabel 9
Faktor-faktor daya dukung

ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5,14	1,00	0
1	5,38	1,09	0,00
2	5,63	1,20	0,01
3	5,90	1,31	0,02
4	6,19	1,43	0,04
5	6,49	1,57	0,07
6	6,81	1,72	0,11
7	7,16	1,88	0,15
8	7,53	2,06	0,21
9	7,92	2,25	0,28
10	8,34	2,47	0,37
20	14,83	6,40	2,87
30	30,14	18,40	15,67
40	75,31	64,20	93,69
50	266,88	319,06	873,86

Sumber : Hardiyatmo (2020)

METODE

Lokasi penelitian dilakukan pada struktur dinding penahan tanah pada ruas jalan, Desa Kilang, Kecamatan Leitimur Selatan, Kota Ambon, Provinsi Maluku. Penelitian mencakup penyelidikan tanah melalui pengujian indeks propertis tanah di laboratorium maupun interpretasi dan korelasi empiris hasil penyelidikan tanah; dilanjutkan dengan menghitung beban yang bekerja pada struktur dinding penahan tanah. Perhitungan didasarkan pada gambar *as built drawing* Pekerjaan Dinding Penahan Tanah pada Ruas Jalan Desa Kilang, Kecamatan Leitimur Selatan. Kemudian menghitung stabilitas dinding penahan tanah, dan dilanjutkan dengan menghitung daya dukung fondasi tiang bor berdasarkan karakteristik mekanis tanah. Perhitungan menggunakan persamaan yang diajukan oleh O'Neill & Reese, metode β untuk tipe tanah granular.



Gambar 1.

Lokasi penelitian.

Sumber : Google Maps (2021)

PEMBAHASAN

Hasil Penyelidikan Tanah

Tabel 10
Hasil Pengujian Properties Tanah

No.	Pengujian	Metode Pengujian	Sim.	Hasil	Sat.
1	Kadar air	SNI 1965:2008	W	16,54	%
2	Berat isi tanah basah	SNI 03-3637-1994	γ_b	1,60	gr/cm ³
3	Berat jenis	SNI 1964:2008	Gs	2,54	
4	Analisa saringan	SNI ASTM C136:2012			
	a. Lolos saringan no. 4			99,58	%
	b. Lolos saringan no. 40			61,77	%
	c. Lolos saringan no. 200			26,39	%
5	Batas-batas Atterberg				
	a. Batas cair	SNI 1967:2008	LL	26	%
	b. Batas plastis	SNI 1966:2008	PL	-	%
	c. Indeks plastisitas	SNI 1966:2008	IP	NP	
6	Kepadatan	SNI 1742:2008	$\gamma_d(max)$	1,71	gr/cm ³

Sumber: Hasil olah data (2021)

Mengacu pada SNI 6371:2015, dapat ditentukan jenis tanah berupa pasir dengan butiran halus (butir halus >12%, kerikil <15%) dengan klasifikasi butiran halus berdasarkan diagram plastisitas Casagrande (ASTM D2487) dengan hasil pengujian berat jenis (G_s) butiran halus, maka tanah dapat didefinisikan sebagai pasir lanauan (SM) dengan butiran halus lanau plastisitas rendah (ML).

Korelasi empiris sudut geser dalam tanah untuk Persamaan 1

$$\begin{aligned}
 \varphi' &= \tan^{-1} \left(\frac{1}{ae + b} \right) \\
 &= \tan^{-1} \left(\frac{1}{(a \times 0,48) + b} \right) \\
 &= 38,35^\circ
 \end{aligned}$$

This work is licensed under Creative Commons Attribution License 4.0 CC-BY International license



Beban Yang Bekerja

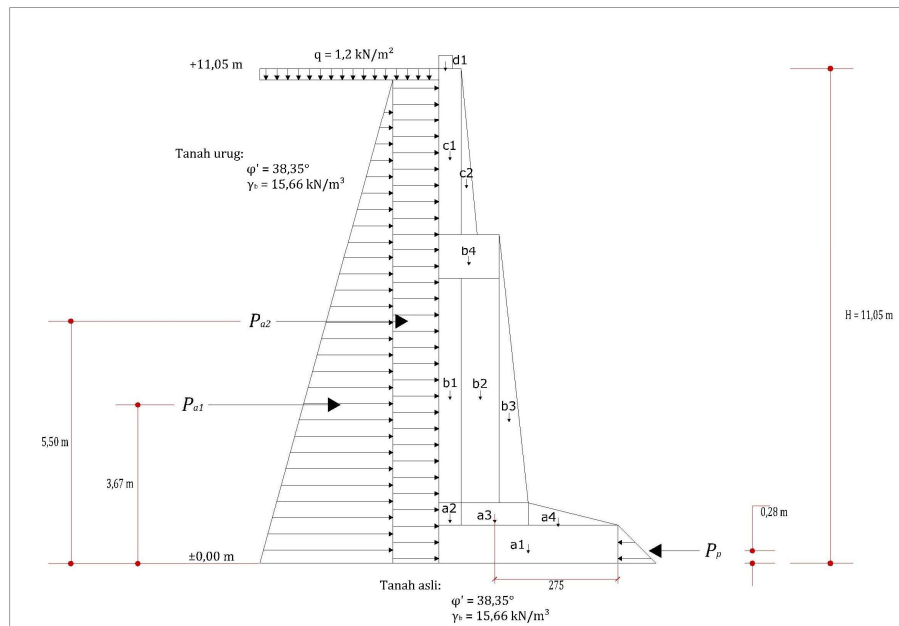
Beban struktur

Beban yang bekerja pada struktur belum termasuk berat sendiri fondasi tiang. Dimensi penampang struktur DPT dikalikan dengan berat jenis ($\gamma_{\text{beton bertulang}} = 24 \text{ kN/m}^3$). Uraian gaya-gaya yang bekerja dapat dilihat pada Tabel 11 & Gambar 4.1.

Tabel 11
Tabel uraian gaya-gaya vertikal dan momen

No.	Uraian	Gaya (kN)	Lengan momen (m)	Momen (kNm)
a1	4 x 0,85 x 24	81,60	2,00	163,20
a2	0,5 x 0,5 x 24	6,00	3,75	22,50
a3	1,5 x 0,5 x 24	18,00	2,75	49,50
a4	$\frac{1}{2} \times 2 \times 0,5 \times 24$	12,00	1,33	15,96
b1	0,5 x 5 x 24	60,00	3,75	225,00
b2	0,85 x 5 x 24	102,00	3,08	314,16
b3	$\frac{1}{2} \times 0,65 \times 6 \times 24$	46,80	2,43	113,72
b4	1,35 x 1 x 24	32,40	3,33	107,89
c1	0,5 x 3,7 x 24	44,40	3,75	166,50
c2	$\frac{1}{2} \times 0,36 \times 3,7 \times 24$	15,98	3,38	54,03
d1	0,3 x 0,3 x 22	1,98	3,85	7,62
$\Sigma W = 421,16$				$\Sigma M_w = 1240,08$

Sumber : Hasil olah data (2021)



Gambar 2

Gaya-gaya pada dinding penahan tanah. Sumber : Hasil olah data (2021)

Beban tanah

Karena tanah di belakang dinding tidak terendam air, maka analisa tidak mempertimbangkan ketinggian muka air tanah. Beban akibat tekanan lateral tanah dihitung berdasarkan Persamaan 15. Permukaan urugan tanah dibelakang dinding horizontal ($\beta = 0^\circ$) maka tekanan tanah aktif total (P_a) dan tekanan tanah pasif (P_p) total yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.3:

$$\begin{aligned} K_a &= tg^2(45 - \frac{\phi}{2}) \\ &= tg^2(45 - 38,35/2) \\ &= 0,2342 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_p &= tg^2(45 + \frac{\phi}{2}) \\ &= tg^2(45 + 38,35/2) \\ &= 4,2695 \end{aligned}$$

Tabel 12
Tekanan tanah aktif & pasif

No.	Uraian	P(kN)	Lengan momen (m)	Momen (kNm)
P _{a1}	$\frac{1}{2} \times 11,00^2 \times 15,66 \times 0,234$	221,69	3,67	813,63
P _{a2}	$1,2 \times 11,00 \times 0,234$	3,08	5,50	16,98
P _p	$\frac{1}{2} \times 0,85^2 \times 15,66 \times 4,269$	-24,15	0,28	-6,76
$\Sigma P_h = 200,62$				$\Sigma M_{gl} = 823,85$

Sumber: Hasil olah data (2021)

Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Stabilitas terhadap pergeseran (Persamaan 16)

$$\begin{aligned} F_{gs} &= \frac{\sum R_h}{\sum P_h} = \frac{\sum wf}{\sum P_h} \geq 1,5 \\ &= 421,16 \times 0,45 / 200,62 \\ &= 0,94 \geq 1,50 \text{ (tidak ok)} \end{aligned}$$

Stabilitas terhadap penggulingan (Persamaan 17)

$$\begin{aligned} F_{gl} &= \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \geq 1,5 \\ &= 1240,08/823,85 \\ &= 1,50 \geq 1,50 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Stabilitas terhadap daya dukung tanah

Tekanan *overburden* dihitung berdasarkan nilai berat volume kering (γ_d) karena pertimbangan tanah diatas fondasi tidak terendam air, sehingga kondisi kritis dimana daya dukung yang minimum adalah saat tanah menjadi kering. Faktor daya dukung untuk $\phi' = 38,35^\circ$ dari hasil interpolasi linier berdasarkan Tabel 9, didapat $N_q = 51,40$ dan $N_\gamma = 68,71$. Daya dukung ultimit untuk fondasi persegi panjang pada tanah pasir (Persamaan 18):

$$\begin{aligned} q_u &= \{(13,64 \times 1,35) \times 51,40\} + \{0,5 \times 15,69 \times 4 \times 68,71 \times (1 - (0,2 \times 4/20))\} \\ &= 3.016,35 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Letak resultan gaya-gaya dari titik O (Persamaan 19b):

$$\begin{aligned}x &= \frac{\sum M_w - \sum M_{gl}}{\sum W} \\&= (1240,08 - 823,85) / 421,16 \\&= 0,98 \text{ m}\end{aligned}$$

Eksentrisitas pada dasar fondasi (Persamaan 19a):

$$\begin{aligned}e &= B/2 - x \\&= 4/2 - 0,98 \\&= 1,01 \text{ m ; } e < B/6 \text{ (tidak ok)}\end{aligned}$$

Gaya yang bekerja pada tiang

Jumlah tiang = 16 tiang

Jarak kelompok tiang baris 1-1 terhadap titik O = 3,12 m. Sedangkan untuk kelompok tiang baris 2-2 = 2,37 m.

$$\begin{aligned}\sum x^2 &= n_1(x_1^2) + \dots + n_n(x_n^2) \\&= 8 \times (3,12^2) + 8 \times (2,37^2) \\&= 122,81 \text{ m}^2.\end{aligned}$$

Momen total terhadap sumbu y (M_y):

$$\begin{aligned}\sum M &= M_w + M_{gl} \\&= -1240,08 + 823,85 \\&= -416.23 \text{ kNm (searah jarum jam)}\end{aligned}$$

Gaya yang bekerja pada tiang pada baris 1-1 (Persamaan 11)

$$\begin{aligned}Q_1 &= \frac{V}{n} + \frac{M_y x_1}{\sum x^2} \\&= \frac{421,16}{16} + \frac{-416,23 \times 3,12}{122,81} \\&= 15,74 \text{ kN}\end{aligned}$$

Gaya yang bekerja pada tiang pada baris 2-2 (Persamaan 11)

$$\begin{aligned}Q_2 &= \frac{V}{n} + \frac{M_y x_2}{\sum x^2} \\&= \frac{421,16}{16} + \frac{-416,23 \times 2,37}{122,81} \\&= 18,29 \text{ kN}\end{aligned}$$

Daya Dukung Tiang Tunggal

Korelasi empiris untuk nilai N berdasarkan parameter sudut geser efektif dalam tanah (ϕ')
Diperoleh N sebesar 27,26 (Persamaan 2)

Untuk tiang rencana ($L = 3,00 \text{ m}$)

Luas dasar tiang $A_b = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi 0,3^2 = 0,07 \text{ m}^2$

Tahanan ujung tiang per satuan luas (Persamaan 4):

$$\begin{aligned}f_b &= 0,60N \\&= 0,60 \times 27,26 \\&= 16,35 \text{ tsf} \\&= 1.727,19 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Tahanan ujung ultimit (Persamaan 6):

$$\begin{aligned} Q_b &= A_b f_b \\ &= 0,07 \times 1.727,19 \\ &= 120,91 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Keliling tiang} = \pi d = \pi \times 0,3 = 0,94 \text{ m}$$

Tekanan *overburden*

$$\begin{aligned} p_o &= Df \gamma_b \\ &= 3,0 \times 15,66 \\ &= 46,99 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Tahanan gesek tiang per satuan luas

Nilai K diambil berdasarkan Persamaan 9b. Sedangkan rasio δ/φ' diambil berdasarkan Tabel 3.

$$\begin{aligned} \delta/\varphi' &= 1 \\ \delta &= 38,35^\circ \\ \beta &= K \tan \delta \text{ (Persamaan 8)} \\ &= 0,6 \tan 38,35 \\ &= 0,47 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s &= \beta p_o \text{ (Persamaan 7)} \\ &= 0,47 \times 46,99 \\ &= 22,31 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Tahanan gesek ultimit (Persamaan 10):

$$\begin{aligned} Q_s &= A_s f_s \\ &= (0,94 \times 3,0) \times 22,31 \\ &= 62,90 \text{ kN} \end{aligned}$$

Daya dukung ultimit (neto):

$$\begin{aligned} W_f &= (\frac{1}{4} \pi d^2) L \gamma_{\text{beton bertulang}} \\ &= (\frac{1}{4} \pi \times 0,3^2) \times 3,2 \times 24 \\ &= 5,43 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_b + Q_s - W_p \text{ (Persamaan 3)} \\ &= 120,91 + 62,9 - 5,43 \\ &= 178,38 \text{ kN} \end{aligned}$$

Faktor aman (F), nilai F mengacu pada Tabel 4:

$$\begin{aligned} F &= Q_{ult}/Q > 3 \\ &= 178,38/18,29 \\ &= 9,75 > 3 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Daya dukung ijin:

$$\begin{aligned} Q_{ai} &= (Q_b + Q_s)/3 - W_f \\ &= 59,46 - 5,43 \\ &= 54,03 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk tiang pelaksanaan ($L = 3,20 \text{ m}$)

Tekanan *overburden*

$$\begin{aligned} p'_o &= Df \gamma_b \\ &= 3,2 \times 15,66 \\ &= 50,13 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Tahanan gesek per satuan luas:

$$\begin{aligned} \beta &= K \operatorname{tg} \delta \text{ (Persamaan 8)} \\ &= 0,6 \operatorname{tg} 38,35 \\ &= 0,47 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s &= \beta p_o \text{ (Persamaan 7)} \\ &= 0,47 \times 50,13 \\ &= 23,80 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Tahanan gesek ultimit (Persamaan 2.11):

$$\begin{aligned} Q_s &= A_s f_s \\ &= (0,94 \times 3,2) \times 23,80 \\ &= 71,58 \text{ kN} \end{aligned}$$

Daya dukung ultimit neto (Persamaan 3):

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_b + Q_s - W_p \\ &= 120,91 + 71,58 - 5,43 \\ &= 187,06 \text{ kN} \end{aligned}$$

Faktor aman (F), nilai F mengacu pada Tabel 4:

$$\begin{aligned} F &= Q_{ult}/Q > 3 \\ &= 187,06/18,29 \\ &= 10,22 > 3 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Daya dukung ijin:

$$\begin{aligned} Q_{ai} &= (Q_b + Q_s)/3 - W_f \\ &= 64,16 - 5,43 \\ &= 58,73 \text{ kN} \end{aligned}$$

Daya Dukung Kelompok Tiang

Efisiensi kelompok tiang (Persamaan 12):

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \theta \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90 mn} \\ &= 1 - 21,8 \times [(8-1)2 + (2-1)8]/(90 \times 2 \times 8) \\ &= 0,67 \end{aligned}$$

Daya dukung ultimit kelompok tiang dengan memperhatikan faktor efisiensi tiang (Persamaan 13):

Untuk tiang rencana ($L = 3,00 \text{ m}$)

$$\begin{aligned} Q_g &= E_g n Q_u \\ &= 0,67 \times 14 \times 178,38 \\ &= 1.673,20 \text{ kN} \end{aligned}$$

Faktor aman (F), nilai F mengacu pada Tabel 4

$$\begin{aligned} F &= Q_g/W > 3 \\ &= 1.673,20/421,16 \\ &= 3,97 > 3 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Daya dukung ijin kelompok tiang

$$\begin{aligned} Q_{al} &= Q_g/F \\ &= 1.673,20 / 3 \\ &= 557,73 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk tiang pelaksanaan ($L = 3,20 \text{ m}$)

$$\begin{aligned} Q_g &= E_g n Q_u \\ &= 0,67 \times 16 \times 187,06 \\ &= 2.005,28 \text{ kN} \end{aligned}$$

Faktor aman (F), nilai F mengacu pada Tabel 5

$$\begin{aligned} F &= Q_g/W > 3 \\ &= 2.005,28/421,16 \\ &= 4,76 > 3 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Daya dukung ijin kelompok tiang:

$$\begin{aligned} Q_{al} &= Q_g/F \\ &= 2.005,28 / 3 \\ &= 668,42 \text{ kN} \end{aligned}$$

Penurunan Segera

Nilai modulus elastis pasir dengan kepadatan sedang diambil berdasarkan Tabel 5, nilai rasio poisson berdasarkan Tabel 6, sedangkan faktor pengaruh untuk fondasi fleksibel diambil berdasarkan Tabel 7. Penurunan segera (*immediate seatlement*) setelah penerapan beban (Persamaan 14):

$$\begin{aligned} S_i &= \frac{qB}{E} (1 - \mu^2) I_p \\ &= 421,16 \times 4 / 20.000 (1 - 0,3^2) 1,05 \\ &= 0,080 \text{ m} \end{aligned}$$

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diperoleh besar daya dukung ijin (Q_{al}) fondasi tiang bor terhadap struktur dinding penahan tanah untuk tiang tunggal rencana sebesar 54,03 kN dengan beban (Q) yang bekerja pada tiang sebesar 18,29 kN. Sedangkan untuk daya dukung ijin (Q_{al}) kelompok tiang rencana sebesar 557,73 kN dengan beban (V) yang bekerja sebesar 421,16 kN. Faktor aman (F), didapat senilai 3,97, dengan penurunan segera (S_i) yang terjadi adalah sebesar 0,080 m.

Berdasarkan tinjauan tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa desain awal fondasi tiang bor pada struktur dinding penahan tanah ruas jalan Kilang masih pada batas aman (memenuhi faktor aman), sehingga perubahan dimensi tiang tunggal dan penambahan jumlah tiang tidak diperlukan pada struktur dinding penahan tanah tersebut, sebab beban yang bekerja tidak melebihi daya dukung rencana tiang tunggal dan kelompok tiang. Dengan demikian perencanaan perlu diawali dengan penyelidikan tanah, agar dapat diketahui batasan daya dukung sehingga hasil pekerjaan efektif dan tidak melampaui batas-batas keamanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Das & Sivakugan. (2019). Principles of Foundation Engineering. Boston: Cengage Learning.
- Hardiyatmo. (2020). Analisis dan Perancangan Fondasi I (edisi ke-4). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo. (2018). Analisis dan Perancangan Fondasi II (edisi ke-4). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Luthfi, N., Yuki A. Y. (2017). Analisis Daya Dukung Kelompok Tiang Bor pada Jembatan Moh Toha. Jurnal Reka Racana, 3(4), 104–111.
- Luqman H. (2021). Perencanaan Dinding Penahan Tanah (Retaining Wall) Pada Daerah Sempadan Sungai Jl Sultan Agung Jember Dengan FEM. Skripsi Fakultas Teknik. Universitas Jember.
- Murthy. (2002). Geotechnical Engineering Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering. Singapore: Taylor & Francis Inc.
- Simanjuntak, Roesyanto. (2014). Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Bor Kelompok Pada Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Fak. Mipa Universitas Negeri Medan (UNIMED). Jurnal Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara.
- Widiati, La U. (2018). Analisis Perencanaan Pondasi Tiang Bored Pile Pada Proyek Pembangunan Jembatan Holtekamp Kota Jayapura. Journal of Portal Civil Engineering, 1(1), 17–24.