

ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL BINJAI – LANGSA SEKSI BINJAI – PANGKALAN BRANDAN STA. 12 + 300

Bryan Ananta Lingga¹, Relita Noviarti Siagian², Rasdinanta Tarigan³

Program Studi Teknik Sipil^{1,2,3}, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan

bryanlingga@students.polmed.ac.id¹, relitasiagian@students.polmed.ac.id²,

rasdinantatarigan@polmed.ac.id³

ABSTRAK

Pondasi tiang atau disebut juga dengan pondasi dalam yang berfungsi untuk memindahkan atau menyalurkan beban-beban yang berasal dari konstruksi di atasnya (*upper structure*) ke lapisan tanah keras yang letaknya sangat dalam. Perencanaan pondasi membutuhkan penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium. Tujuan penulisan Laporan Tugas Akhir ini adalah mengetahui perbandingan nilai daya dukung kelompok tiang pancang berdasarkan data hasil pengujian *Standard Penetration Test (SPT)* dengan dua metode perhitungan yaitu, *Based on N-SPT/Meyerhof* dan *American Petroleum Institute (API)* sedangkan pengujian laboratorium dengan dua metode perhitungan yaitu, Vesic (1977) dan Coyle & Castello (1981). Lalu perhitungan diteruskan untuk menghitung daya dukung kelompok tiang dimulai dengan perhitungan efisiensi tiang pancang dengan metode perhitungan Converse-Labarre karena jenis tanah pendukung pada titik pengujian adalah tanah kepasiran. Hasil analisis daya dukung kelompok tiang pada *Abutment 1 (ABT-1)* yaitu sebesar 8258,954 ton (*Based on N-SPT/Meyerhof*), 11484,108 ton (*API*), 6980,473 ton (Vesic, 1977) dan 6637,515 ton (Coyle & Castello, 1981). Sedangkan nilai daya dukung kelompok tiang pada Pilar 2 (P-2) yaitu sebesar 8922,062 ton (*Based on N-SPT/Meyerhof*), 12607,969 ton (*API*), 5730,198 ton (Vesic, 1977) dan 5697,734 ton (Coyle & Castello, 1981).

Kata Kunci : Pondasi Tiang, Pengujian SPT, Daya Dukung Izin Kelompok Tiang

PENDAHULUAN

Overpass merupakan salah satu bangunan infrastruktur di bidang transportasi yang bangunannya tidak sebidang dengan tanah. *Overpass* dibangun melayang melewati daerah atau kawasan tertentu yang biasanya memiliki permasalahan atau dengan tujuan tertentu. Bangunan *overpass* terdiri atas bangunan bawah (*sub structure*) dan bangunan atas (*upper structure*). Bangunan bawah (*sub structure*) terdiri atas beberapa bagian, salah satunya adalah pondasi.

Secara umum jenis pondasi terbagi menjadi dua yaitu pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*). Pondasi dangkal biasanya dilaksanakan pada tanah dengan kedalaman tidak lebih dari 3 meter atau sepertiga dari lebar alas pondasi. Dengan kata lain, pondasi ini diterapkan pada tanah yang keras atau stabil yang mendukung struktur bangunan yang tidak terlalu berat dan tinggi, dengan kedalaman tanah keras kurang dari 3 meter. Pondasi dalam adalah pondasi yang didirikan pada permukaan tanah dengan kedalaman tertentu dimana daya dukung dasar pondasi dipengaruhi oleh beban struktural dan kondisi permukaan tanah, pondasi dalam biasanya dipasang pada kedalaman lebih dari 3 m di bawah elevasi permukaan tanah. Pondasi dalam dapat dijumpai dalam bentuk pondasi tiang pancang dan *bore pile*.

Pondasi yang umum digunakan pada pembangunan *overpass* adalah pondasi tiang pancang. Pondasi tiang pancang memiliki daya dukung yang diperoleh dari daya dukung ujung (*end bearing capacity*) dari tekanan ujung tiang dan daya dukung gesek atau selimut (*friction bearing capacity*) dari gaya gesek atau gaya adhesi antara selimut tiang pancang dengan tanah di sekelilingnya.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang. Pemilihan metode yang digunakan tergantung dengan parameter data tanah yang dipakai. Pengujian tanah dilapangan yang paling sering dilakukan biasanya terdiri dari uji sondir dan *bor log*.

Tujuan dalam penelitian ini adalah menganalisis daya dukung ijin kelompok pondasi tiang pancang berdasarkan data pengujian *Standard Penetration Test (SPT)* dan data laboratorium pembangunan

jalan tol Binjai – Langsa Seksi Binjai – Pangkalan Brandan STA. 12 + 300. Sehingga penelitian ini diharapkan untuk mengetahui nilai daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan dua data pengujian tanah yang digunakan, mengetahui nilai daya dukung terbesar dan terkecil dari hasil analisis daya dukung pondasi tiang pancang, dan mengetahui penyebab perbedaan nilai daya dukung dari kedua data yang digunakan.

TINJAUAN PUSTAKA

Daya Dukung Aksial Berdasarkan Metode *Based on N-SPT* (Meyerhof)

Berdasarkan metode *Based on N-SPT* merupakan salah satu metode yang sama dengan Meyerhof, perhitungan daya dukung ujung tiang pancang secara umum dirumuskan seperti (Hanafiah, Muhammad, & Zairipan, 2019 Hal: 211-213) berikut :

1. Daya Dukung Ujung (*end bearing*)

$$Q_p = A_p \cdot q_p \quad (1)$$

Dimana :

Q_p = daya dukung ujung (ton)

q_p = unit *end bearing* (t/m^2)

A_p = luas penampang tiang pancang (m^2)

a. Tanah yang berbutir halus atau *clay soil* (*c-soil*)

Untuk jenis tanah berbutir halus, secara umum q_b sebagai berikut :

$$q_b = N_c \cdot C_u \quad (2)$$

dimana:

$N_c = 9$

C_u = *undraind shear strength of clay on base of end bearing pile*

b. Tanah berbutir kasar atau pasir (ϕ -soil)

Untuk tanah berbutir kasar atau pasir, secara umum q_b dirumuskan sebagai berikut :

$$q_b = 40 \cdot N-SPT_{av} \quad (3)$$

dimana:

$N-SPT_{av} = (N_1 + N_2)/2$ (N_1 = nilai *N-SPT* rata-rata dari dasar ke 10D ke atas N_2 = nilai *N-SPT* rata-rata dari dasar ke 4D ke bawah)

2. Daya Dukung Selimut (*skin friction*)

Berdasarkan metode *Based on N-SPT*, perhitungan daya dukung selimut/gesek tiang pancang secara umum seperti berikut :

$$Q_s = \sum f_s \cdot p \cdot \Delta L \quad (4)$$

dimana :

Q_s = daya dukung selimut tiang pancang (ton)

f_s = tahanan ujung tiang pancang (ton/m^2)

P = keliling penampang tiang pancang (m)

ΔL = panjang unit tiang pancang (m)

a. Tanah berbutir halus (*clay soil*)

Untuk jenis tanah berbutir halus, secara umum f_s dirumuskan sebagai berikut :

$$f_s = \alpha \cdot C_u \quad (5)$$

Dimana :

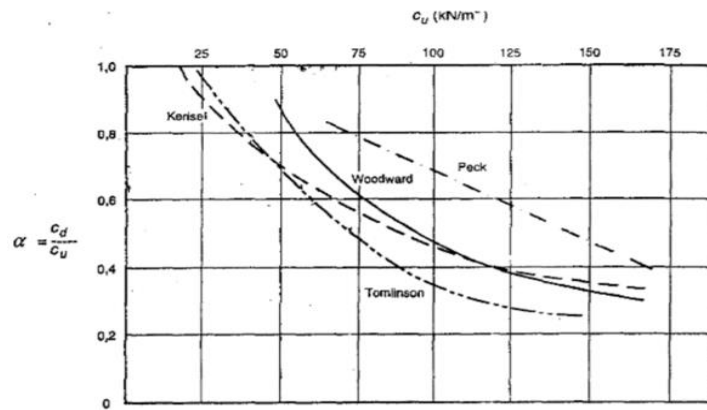
α = faktor adhesi (*adhesion factor*)

C_u = *undraind shear strength* = $2/3 \cdot N-SPT$ (ton/m^2)

b. Tanah berbutir kasar atau pasir (ϕ -soil)

Untuk tanah berbutir kasar atau pasir, secara umum f_s dirumuskan sebagai berikut :

$$f_s = 0,2 \cdot N-SPT \quad (6)$$



Gambar 1. Faktor adhesi (α) Untuk Tiang Pancang Dalam Lempung
(Menurut McClelland, 1974)
Sumber: Hardiyatmo, 2015

Daya Dukung Aksial Berdasarkan Metode *American Petroleum Institute (API)*

Metode *American Petroleum Institute (API)* merupakan salah satu metode yang sering digunakan dalam mendesain daya dukung aksial pondasi tiang pancang (Segment, 2003 Hal: 69-70) berikut :

1. Daya Dukung Ujung (*end bearing*)

Berdasarkan metode yang disarankan oleh *API*, perhitungan daya dukung ujung tiang pancang secara umum dirumuskan seperti berikut :

$$Q_b = q_b \cdot A_b \quad (7)$$

a. Untuk tanah berbutir halus atau *clay soil* (*c* - soil)

$$q_p = N_c \cdot C_u \quad (8)$$

b. Untuk tanah berbutir kasar atau pasir (ϕ - soil)

$$q_p = \sigma_v' \cdot N_q \quad (9)$$

Dimana :

σ_v' = tegangan overburden efektif di ujung tiang (*overburden pressure*) (ton/m^2)

N_q = faktor daya dukung (*bearing capacity factor*)

Tabel 1. Batas Nilai Unit *end bearing* Untuk Jenis-Jenis Tanah Pasir dengan Nilai N_q

Jenis Tanah	N_q	Batasan q (Kpa)
<i>Very Loose To Medium, Sand To Slit</i>	8	1900
<i>Loose To Dense Sand, Sand To Slit</i>	12	2900
<i>Medium To Dense, Sand To Slit</i>	20	4800
<i>Dense To Very Dense, Sand To Sand Slit</i>	40	9600
<i>Dense To Very Dense, Gravel To Sand</i>	50	12000

Sumber: (API, 1986)

2. Daya Dukung Selimut/Gesek (*skin friction*)

Berdasarkan metode yang disarankan oleh *American Petroleum Institute (API)* 1986, perhitungan daya dukung selimut/gesek tiang pancang secara umum dirumuskan seperti berikut :

$$Q_s = \sum f_s \cdot p \cdot \Delta L \quad (10)$$

a. Untuk tanah berbutir halus atau *clay soil* (*c*-soil)

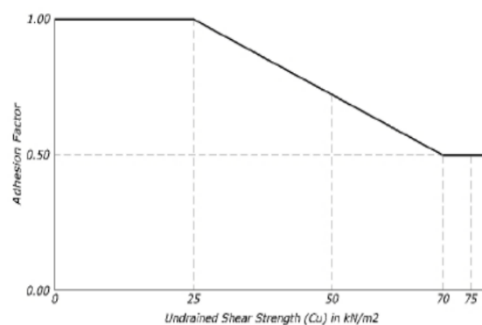
Untuk tanah berbutir halus, secara umum f_s dirumuskan sebagai berikut :

$$f_s = \alpha \cdot C_u \quad (11)$$

Dimana :

α = faktor adhesi

C_u = *undrained shear strength* (ton/m^2)



Gambar 2. Hubungan Antara *Undrained Shear Strength* (C_u) Terhadap Faktor Adhesi (α)
Sumber: API, 1986

- b. Untuk tanah berbutir kasar atau pasir (ϕ -soil)

Untuk tanah berbutir kasar atau pasir, secara umum f_s dirumuskan sebagai berikut :

$$f_s = K \cdot \sigma_v' \cdot \tan \delta \quad (12)$$

Dimana :

σ_v' = tegangan overburden efektif di ujung tiang (ton/m^2)

δ = *friction angle between soil and pile (using 2/3 ϕ)*

K = tekanan lateral tanah (*lateral earth pressure*)

Tabel 2. Batas Nilai unit *skin friction* Jenis-Jenis Tanah Berpasir Untuk Nilai (δ) Tertentu

Jenis Tanah	δ	Batasan q (Kpa)
<i>Very Loose To Medium, Sand To Slit</i>	15	47,8
<i>Loose To Dense Sand, Sand To Slit</i>	20	67
<i>Medium To Dense, Sand To Slit</i>	25	83,1
<i>Dense To Very Dense, Sand To Sand Slit</i>	30	95,5
<i>Dense To Very Dense, Gravel To Sand</i>	35	114,8

Sumber: API, 1986

Daya Dukung Aksial Tiang Pancang Berdasarkan Data Laboratorium

1. Daya Dukung Ujung (Q_p)

a. Metode Vesic

Vesic (1977) mengusulkan suatu metode untuk mencari nilai daya dukung tiang berdasarkan teori pemuaian rongga (*expansion of cavities*) (Das, Principles of Foundation Engineering, 1941 Hal : 587) berikut :

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p (c \cdot N_c + \sigma_o' \cdot N_\sigma) \quad (13)$$

Dimana :

Q_p = daya dukung ujung pondasi tiang pancang (ton)

A_p = luas penampang ujung tiang (m^2)

σ_o' = tegangan (efektif) normal rata-rata pada level ujung tiang (t/m^2)

$$= \frac{1+2K_0}{3} \times q'$$

K_0 = koefisien tekanan tanah diam = $K_0 = 1 - (\sin \phi)$

$$N_\sigma = \frac{3 \cdot N_q}{(1+2K_0)}$$

N_c, N_q = faktor daya dukung ujung

b. Metode Coyle dan Castello (1981)

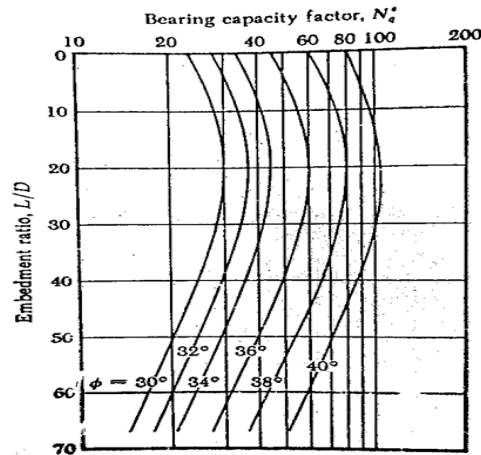
Coyle dan Castello (1981) telah menganalisis sejumlah uji lapangan berskala besar pemancangan tiang pada pasir (Das, Principles of Foundation Engineering, 1941 hal: 588), sebagai berikut :

$$Q_p = A_p \cdot q' \cdot N_q \quad (14)$$

Dimana :

A_p = luas penampang ujung tiang (m^2)

N_q = faktor daya dukung ujung
 q' = tegangan vertikal efektif (t/m^2)



Gambar 3. Varian Nilai N_q dengan L/D dan sudut geser dalam (ϕ) (Coyle dan Castello)
 Sumber: Das, 1941

2. Daya Dukung Selimut (*skin friction capacity*)

Daya dukung selimut/gesek atau tahanan kulit tiang dapat ditulis sebagai persamaan berikut :

$$Q_s = \sum f \cdot p \cdot \Delta L \quad (15)$$

Dimana :

f = tahanan gesek satuan pada setiap kedalaman z (t/m^2)

Tahanan gesek satuan untuk kedalaman tertentu tiang di dalam pasir dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$f = K \sigma_v' \tan \delta \quad (16)$$

Pada kenyataannya, nilai K bervariasi dengan kedalaman. Berdasarkan hasil-hasil yang ada, nilai rata – rata K berikut :

Tabel 3. Variasi nilai K berdasarkan cara pemasangan tiang ke dalam tanah (Das, 1941)

Cara Pemasukan Tiang	K
Tiang bor atau <i>jetter</i>	$K = K_o = 1 - (\sin \phi)$
Tiang pancang perpindahan rendah	$K = K_o$ (batas bawah) $K = 14 K_o$ (batas atas)
Tiang pancang perpindahan tinggi	$K = K_o$ (batas bawah) $K = 18 K_o$ (batas atas)

Sumber: API, 1986

a. Metode α

Menurut metode α , tahanan kulit satuan pada tanah kelepungan dapat digambarkan dengan persamaan (Das, *Principles of Foundation Engineering*, 1941 Hal: 593) berikut :

$$f = \alpha \cdot C_u \quad (17)$$

Variasi pendekatan untuk nilai ditunjukkan pada Gambar 4. Perlu dicatat bahwa lempung terkonsolidasi normal dengan $2 c_u \leq$ sekitar 50 kN/m nilai α akan sama dengan 1,0. Maka persamaan daya dukung selimut pada tanah kelepungan dapat dirumuskan sebagai berikut :

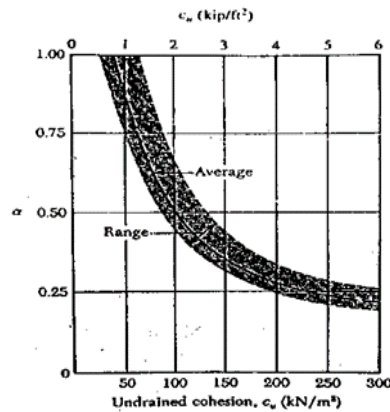
$$Q_s = \sum p \cdot \Delta L \cdot f = \sum \alpha \cdot C_u \cdot p \cdot \Delta L \quad (18)$$

Dimana :

Q_s = daya dukung selimut pondasi tiang pancang (ton)

p = keliling penampang tiang (m)

ΔL = panjang tiang (m)



Gambar 1. Grafik Hubungan Nilai c_u Terhadap Nilai Adhesi Tanah (α)
Sumber: Das, 1941

b. Metode Coyle dan Castello

Coyle dan Castello (1981) telah menganalisis sejumlah uji lapangan berskala besar pemancangan tiang pada pasir, (Das, Principles of Foundation Engineering, 1941 Hal: 593), sebagai berikut :

$$Q_s = f_{av} \cdot p \cdot \Delta L \quad (19)$$

dimana:

$$f_{av} = \text{tahanan gesek rata-rata untuk keseluruhan tiang (kN/m}^2\text{)}$$

$$f_{av} = K \cdot \bar{\sigma}'_v \cdot \tan \delta \quad (20)$$

Dimana :

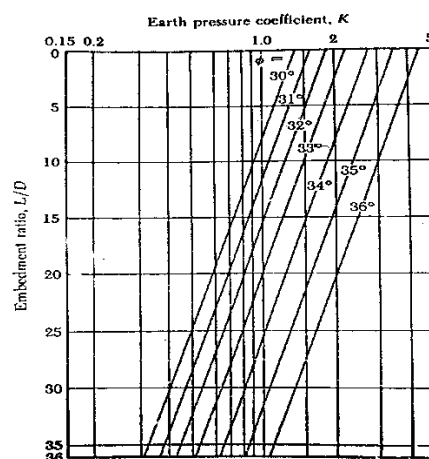
$$\bar{\sigma}'_v = \text{tekanan overburden efektif rata-rata (kN/m}^2\text{)}$$

$$\delta = \text{sudut gesek antara tiang dan tanah } = (0,80\phi)$$

Koefesien tekanan tanah lateral K, yang di tentukan dari pengamatan Gambar 5 Sehingga persamaan Coyle dan Castello dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Q_s = K \cdot \bar{\sigma}'_v \cdot \tan (0,8\phi) \cdot p \cdot \Delta L \quad (21)$$

Variasi nilai tekanan tanah lateral K dapat dilihat dari Gambar 5 berikut.



Gambar 2. Variasi Nilai K dengan L/D dan Sudut Gesek Antara Tiang (ϕ)
Sumber: Das, 1941

Daya Dukung Kelompok Tiang (*Pile Group*) dan Efisiensi Kelompok Tiang

1. Daya Dukung Kelompok Tiang (*Pile Group*)

Untuk $S \geq 3$ kali diameter tiang pancang

$$\bar{z} = E_g \times n \times Q_u \quad (22)$$

Dimana :

- Q_u = daya dukung ultimit 1 tiang pancang
 N = jumlah tiang pancang
 E_g = efisiensi tiang
 S = jarak tiang pancang ke tiang pancang (as-as)

2. Efisiensi Kelompok Tiang

Metode Labbare-Converse

Metode ini dapat dihitung dengan persamaan:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(m-1)n + (n-1)m}{90 \times m \times n} \quad (23)$$

dimana:

$$\theta = \left(\arctan \frac{d}{S} \right) \quad (24)$$

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini terletak pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Ruas Binjai – Langsa, Seksi Binjai – Pangkalan Brandan berada di antara Kabupaten Deli Serdang – Kabupaten Langkat.



Gambar 6. Peta Lokasi Proyek Jalan Tol Binjai – Langsa Ruas Binjai – Pangkalan Brandan STA. 12 + 300.
Sumber: Google Earth, 2021

Pengumpulan Data

Untuk dapat melakukan analisa yang baik, diperlakukan data-data dan teori-teori dasar yang berhubungan dengan konsep yang akan dianalisis.

Data yang digunakan dalam penulisan Tugas Akhir ini dibagi menjadi dua yaitu :

1. Data Primer

Data yang diperoleh dari lokasi proyek pembangunan maupun hasil survei lapangan. Data ini merupakan data yang digunakan atau diolah untuk perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang. Data - data yang diperoleh yaitu :

a. Data Lapangan

Data lapangan berupa hasil penyelidikan tanah menggunakan bor mesin *Standard Penetration Test (SPT)* dan data pengujian laboratorium.

b. Shopdrawing

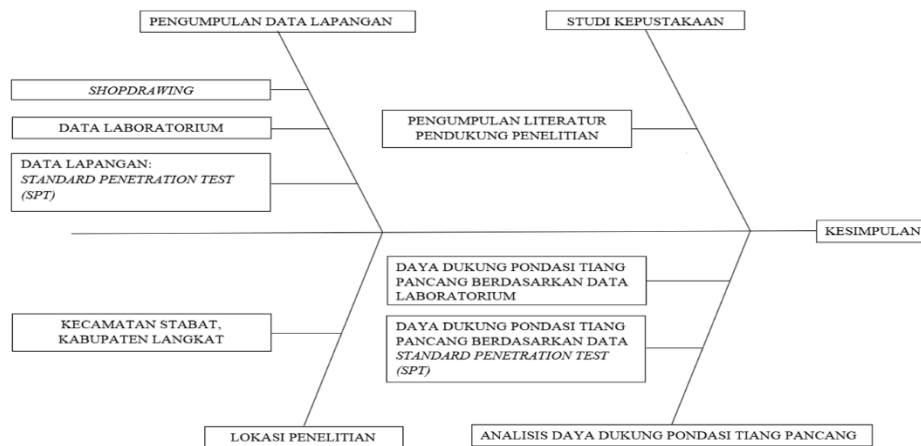
Shopdrawing berupa denah dan detail pondasi tiang pancang yang digunakan pada pembangunan Jalan Tol Binjai – Langsa Seksi Binjai – Pangkalan Brandan.

2. Data Sekunder

Data pendukung dari data primer yang diperoleh dan digunakan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.

Diagram Alir Penyusunan Tugas Akhir

Langkah – langkah yang dilakukan dalam menyusun Laporan Tugas Akhir ini adalah melakukan pengumpulan data dari lapangan, kemudian melakukan studi pustaka dan selanjutnya yaitu menganalisis data dan mengambil kesimpulan dan saran dari data yang telah dianalisis. Untuk mempermudahnya dapat dilihat dalam diagram *fishbone* dibawah ini.



Gambar 7. Diagram fishbone Penyusunan Laporan Tugas Akhir
Sumber: Penulis, 2021

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan kedalaman tanah yang diuji 50 meter, dengan diameter tiang 600 mm yang terbagi atas lima lapisan tanah yang didominasi tanah pasir. Perhitungan daya dukung tiang tunggal berdasarkan data diperoleh, sebagai berikut :

Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Hasil Pengujian SPT

Nilai *Standard Penetration Test* (*N-SPT*) dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 4. Nilai *Standard Penetration Test* (*SPT*)

Kedalaman (m)	Bore Hole 22R (BH-22R)	Bore Hole 21R (BH-21R)
2,00	2	2
4,00	2	8
6,00	3	6
8,00	5	10
10,00	9	16
12,00	13	23
14,00	31	43
16,00	22	32
18,00	34	46
20,00	46	41
22,00	37	38
24,00	24	14
26,00	12	20
28,00	22	16
30,00	28	18
32,00	17	13
34,00	25	15
36,00	10	10
38,00	11	21
40,00	10	14
42,00	37	26
44,00	53	30
46,00	60	57
48,00	65	61
50,00	65	63

44,00	53	30
46,00	60	57
48,00	65	61
50,00	65	63

Berdasarkan data pada Tabel 4, diperoleh nilai daya dukung pondasi tiang pancang yang dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 5. Nilai Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diameter 60 cm Metode *Based on N-SPT/Meyerhof* dan *API* Pada Data *bore hole 22R (BH-22R)* Untuk *Abutment 1*

No.	Metode Perhitungan	Tahanan Ujung (Q_p) (ton)	Tahanan Selimut (Q_s) (ton)	Daya Dukung Ultimit (Q_{ult}) (ton)	Daya Dukung Izin (Q_{all}) (ton)
1.	<i>Based on N-SPT/Meyerhof</i>	725,708	505,922	1231,630	410,543
2.	<i>API</i>	1001,228	711,358	1712,586	570,862

Tabel 6. Nilai Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diameter 60 cm Metode *Based on N-SPT/Meyerhof* dan *API* Pada Data *bore hole 21R (BH-21R)* Untuk *Pilar 2*

No.	Metode Perhitungan	Tahanan Ujung (Q_p) (ton)	Tahanan Selimut (Q_s) (ton)	Daya Dukung Ultimit (Q_{ult}) (ton)	Daya Dukung Izin (Q_{all}) (ton)
1.	<i>Based on N-SPT/Meyerhof</i>	697,434	535,579	1233,012	411,004
2.	<i>API</i>	1024,470	717,928	1742,398	580,799

Daya Dukung Pondasi Berdasarkan Hasil Pengujian Laboratorium

Berdasarkan data hasil pengujian laboratorium, diperoleh nilai daya dukung pondasi tiang pancang yang dapat dilihat dalam tabel berikut :

1. Daya Dukung Ujung (*end bearing capacity*)
 - a. Metode Vesic (1977)

Tabel 7. Perhitungan Tahanan Ujung (*end bearing*) Pada *bore hole 22R (BH-22R)* Menggunakan Metode Vesic (1977)

	Kedalaman (m) Satuan	0,0 -	5,5 -	6,0 -	17,5 -	18,0 -	29,5 -	30,0 -	41,5 -	42,0 -	47,5 -	48,0 -
		5,5	6,0	17,5	18,0	29,5	30,0	41,5	42,0	47,5	48,0	50,0
ϕ	derajat	6,592	6,592	15,634	24,676	22,489	20,302	23,519	26,736	28,605	30,475	30,475
c	t/m ²	1,230	1,230	1,470	1,710	1,035	0,360	0,370	0,380	0,405	0,430	0,430
γ_{wet}	ton/m ³	1,622	1,622	1,695	1,767	1,785	1,803	1,829	1,855	1,924	1,992	1,992
q'	t/m ²	8,921	9,732	29,219	30,102	50,630	51,531	72,565	73,492	84,072	85,068	89,052
K_0	=						0,493					
σ'_v	t/m ²						58,942					
N_{q^*}	=						19,460					
N_{σ^*}	=						29,400					
N_c	=						48,262					
Q_p	ton						495,837					

Tabel 8. Perhitungan Tahanan Ujung (*end bearing*) Pada *bore hole 21R (BH-21R)* Menggunakan Metode Vesic (1977)

	Kedalaman (m) Satuan	0,0 -	5,5 -	6,0 -	11,5 -	12,0 -	17,5 -	18,0 -	29,5 -	30,0 -	47,5 -	48,0 -
		5,5	6,0	11,5	12,0	17,5	18,0	29,50	30,00	47,50	48,0	50,0
ϕ	derajat	8,731	8,731	13,667	18,603	21,593	24,583	18,609	12,634	21,220	29,807	29,807
A_p	m ²	0,283	0,283	0,283	0,283	0,283	0,283	0,283	0,283	0,283	0,283	0,283
c	t/m ²	1,39	1,390	0,945	0,500	0,450	0,400	0,435	0,470	0,425	0,380	0,380
γ	ton/m ³	1,605	1,605	1,663	1,720	1,780	1,839	1,765	1,69	1,821	1,952	1,952
q'	t/m ²	8,828	9,630	18,774	19,634	29,421	30,341	50,632	51,477	83,345	84,321	88,225
K_0	=						0,503					
σ'_v	t/m ²						61,599					
N_{q^*}	=						18,021					

N_{σ}^*	=	26,953
N_c^*	=	29,699
Q_p	ton	452,725

b. Metode Coyle & Castello (1981)

Tabel 9. Perhitungan Tahanan Ujung (*end bearing*) Pada *bore hole* 22R (BH-22R) Menggunakan Metode Coyle dan Castello (1981)

	Kedalaman (m) Satuan	0,0 -	5,5 -	6,0 -	17,5 -	18,0 -	29,5 -	30,0 -	41,5 -	42,0 -	47,5 -	48,0 -
		5,5	6,0	17,5	18,0	29,5	30,0	41,5	42,0	47,5	48,0	50,0
ϕ	derajat	6,592	6,592	15,634	24,676	22,489	20,302	23,519	26,736	28,605	30,475	30,475
γ	ton/m ³	1,622	1,622	1,695	1,767	1,785	1,803	1,829	1,855	1,924	1,992	1,992
q'	t/m ²	8,921	9,732	29,219	30,102	50,630	51,531	72,565	73,492	84,072	85,068	89,052
N_q^*	=	18										
Q_p	ton	453,217										

Tabel 10. Perhitungan Tahanan Ujung (*end bearing*) Pada *bore hole* 21R (BH-21R) Menggunakan Metode Coyle dan Castello (1981)

	Kedalaman (m) Satuan	0,0 -	5,5 -	6,0 -	11,5 -	12,0 -	17,5 -	18,0 -	29,5 -	30,0 -	47,5 -	48,0 -
		5,5	6,0	11,5	12,0	17,5	18,0	29,50	30,00	47,50	48,0	52,0
ϕ	derajat	8,731	8,731	13,667	18,603	21,593	24,583	18,609	12,634	21,220	29,807	29,807
γ	ton/m ³	1,605	1,605	1,663	1,720	1,780	1,839	1,765	1,690	1,821	1,952	1,952
q'	t/m ²	8,827	9,630	18,774	19,634	29,421	30,341	50,632	51,477	83,345	84,321	88,225
N_q^*	=	18										
Q_p	ton	449,009										

2. Daya Dukung Selimut (*skin friction capacity*)

a. Metode Vesic (1977)

Tabel 11. Perhitungan Tahanan Selimut (*skin friction*) Pada *bore hole* 22R (BH-22R) Menggunakan Metode Vesic (1977)

	Kedalaman (m) Satuan	0,0 -	5,5 -	6,0 -	17,5 -	18,0 -	29,5 -	30,0 -	41,5 -	42,0 -	47,5 -	48,0 -
		5,5	6,0	17,5	18,0	29,5	30,0	41,5	42,0	47,5	48,0	50,0
ϕ	derajat	6,592	6,592	15,634	24,676	22,489	20,302	23,519	26,736	28,605	30,475	30,475
c	t/m ²	1,230	1,230	1,470	1,710	1,035	0,360	0,370	0,380	0,405	0,430	0,430
α	=	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,0000	1,000	1,000
f	t/m ²	1,230	1,230	1,470	1,710	1,035	0,360	0,370	0,380	0,405	0,430	0,430
Q_{si}	ton	12,752	1,159	31,865	1,612	22,436	0,339	8,020	0,358	4,199	0,405	1,621
Q_s	ton	84,766										

Tabel 12. Perhitungan Tahanan Selimut (*skin friction*) Pada *bore hole* 21R (BH-21R) Menggunakan Metode Vesic (1977)

	Kedalaman (m) Satuan	0,0 -	5,5 -	6,0 -	11,5 -	12,0 -	17,5 -	18,0 -	29,5 -	30,0 -	47,5 -	48,0 -
		5,5	6,0	11,5	12,0	17,5	18,0	29,5	30,0	47,5	48,0	50,0
ϕ	Derajat	8,731	8,731	13,667	18,603	21,593	24,583	18,609	12,634	21,220	29,807	29,807
c	t/m ²	1,390	1,390	0,945	0,500	0,450	0,400	0,435	0,470	0,425	0,380	0,380
α	=	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
f	t/m ²	1,390	1,390	0,945	0,500	0,450	0,400	0,435	0,470	0,425	0,380	0,380
Q_{si}	ton	14,410	1,310	9,797	0,471	4,665	0,377	9,429	0,443	14,019	0,358	1,433
Q_s	ton	56,714										

b. Metode Coyle & Castello (1981)

Tabel 13. Perhitungan Tahanan Selimut (*skin friction*) Pada *bore hole* 22R (BH-22R) Menggunakan Metode Coyle dan Castello (1981) di Tanah Pasir

	Kedalaman (m)	0,0 -	5,5 -	6,0 -	17,5 -	18,0 -	29,5 -	30,0 -	41,5 -	42,0 -	47,5 -	48,0 -
		5,5	6,0	17,5	18,0	29,5	30,0	41,5	42,0	47,5	48,0	50,0
	Satuan											
ϕ	derajat	6,592	6,592	15,634	24,676	22,489	20,302	23,519	26,736	28,605	30,475	30,475
c	t/m2	1,230	1,230	1,470	1,710	1,035	0,360	0,370	0,380	0,405	0,430	0,430
γ	ton/m3	1,622	1,622	1,695	1,767	1,785	1,803	1,829	1,855	1,924	1,992	1,992
σ'_v	t/m2	8,921	0,811	19,487	0,884	20,528	0,902	21,034	0,928	10,579	0,996	3,984
K	=	0,885	0,885	0,731	0,583	0,617	0,653	0,601	0,550	0,521	0,493	0,493
Q_{si}	ton	7,557	0,062	68,450	0,174	89,231	0,162	93,357	0,188	24,130	0,210	3,355
Q_s	ton	286,875										

Tabel 14. Perhitungan Tahanan Selimut (*skin friction*) Pada *bore hole* 21R (BH-21R) Menggunakan Metode Coyle dan Castello (1981) di Tanah Pasir

	Kedalaman (m)	0,0 -	5,5 -	6,0 -	11,5 -	12,0 -	17,5 -	18,0 -	29,5 -	30,0 -	47,5 -	48,0 -
		5,5	6,0	11,5	12,0	17,5	18,0	29,5	30,0	47,5	48,0	50,0
	Satuan											
ϕ	derajat	8,731	8,731	13,667	18,603	21,593	24,583	18,609	12,634	21,220	29,807	29,807
c	t/m2	1,390	1,390	0,945	0,500	0,450	0,400	0,435	0,470	0,425	0,380	0,380
γ	t/m3	1,605	1,605	1,663	1,720	1,780	1,839	1,765	1,690	1,821	1,952	1,952
σ'_v	t/m2	8,828	0,803	9,144	0,860	9,787	0,920	20,292	0,845	31,868	0,976	3,904
K	=	0,848	0,848	0,764	0,681	0,632	0,584	0,681	0,781	0,638	0,503	0,503
Q_{si}	ton	9,510	0,472	9,572	0,837	11,989	0,995	28,381	0,845	59,501	1,767	6,721
Q_s	ton	130,588										

Daya Dukung Kelompok Tiang (*pile group*)

Daya dukung kelompok tiang (*pile group*) pada *Abutment* 1 dan Pilar 2 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 15. Daya Dukung Kelompok Tiang (*pile group*) dengan Beberapa Metode Perhitungan

No.	Kelompok Tiang	E_g	Metode			
			Based on N-SPT (ton)	API 87 (ton)	Vesic (ton)	Coyle & Castello (ton)
1.	<i>Abutment</i> 1 (ABT-1)	0,671	8258,954	11484,108	6980,473	6637,515
2.	Pilar 2 (P-2)	0,603	8922,062	12607,969	5730,198	5697,734

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan data pengujian tanah dilapangan dan pengujian tanah di laboratorium. Nilai daya dukung kelompok tiang pada *Abutment* 1 (ABT-1) yaitu sebesar 8258,954 ton (*Based on N-SPT/Meyerhof*), 11484,108 ton (*API*), 6980,473 ton (*Vesic, 1977*) dan 6637,515 ton (*Coyle & Castello, 1981*). Sedangkan nilai daya dukung kelompok tiang pada Pilar 2 (P-2) yaitu sebesar 8922,062 ton (*Based on N-SPT/Meyerhof*), 12607,969 ton (*API*), 5730,198 ton (*Vesic, 1977*) dan 5697,734 ton (*Coyle & Castello, 1981*). Nilai daya dukung kelompok tiang terbesar dan terkecil pada *Abutment* 1 (*API*) dan terkecil (*Coyle & Castello, 1981*). Sedangkan pada Pilar 2 (P-2) yaitu terbesar dengan metode *API* dan terkecil dengan metode *Coyle & Castello, 1981*. Evaluasi nilai daya dukung dari hasil perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan data laboratorium lebih kecil. Hal itu dikarenakan pengambilan sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*) untuk pengujian laboratorium hanya di beberapa kedalaman tertentu. Sehingga parameter tanah yang dihasilkan dari pengujian laboratorium kurang mencerminkan sifat dan karakteristik asli tanah di setiap kedalaman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Politeknik Negeri Medan melalui Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E. 1988. "Analisis Dan Desain Pondasi Jilid 2". Jakarta: Erlangga.
- Das M. Braja, 1941, "Principles of Foundation Engineering". Boston, USA: Publisher Global Engineering.
- Hardiyatmo, H. C. 2014. "Analisa dan Perancangan Fondasi I". Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. 2015. "Analisa dan Perancangan Fondasi II ". Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hanafiah, H.Z., Muhammad Reza, Zairipan Jaya, 2019. "Rekayasa Pondasi Untuk Program Vokasi". Yogyakarta: Andi.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2008. "Teknik Pondasi 2". Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Murthy, V.N.S., 2007. "Advanced Foundation Engineering". New Delhi, India: CBS Publishers & Distributors.
- Nadya Savira. (Tidak ada tahun terbit) Analisa Daya dukung Tiang Pancang Data Laboratorium Dibandingkan Dengan Data Sondir dan Standard Penetration Test (SPT) Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar (KLMB). Jurnal Teknik Sipil.: 11-16.