

**STUDI DAYA DUKUNG VERTIKAL PONDASI BORE PILE BERDASARKAN DATA N-
SEPERTI, PDA DAN METODE ELEMEN HINGGA**

**(STUDI EMPIRIS PROYEK PEMBANGUNAN JEMBATAN ARANIO KABUPATEN
BANJAR)**

**STUDY OF VERTICAL BEARING CAPACITY OF BORE PILE FOUNDATIONS BASED
ON N-SPT, PDA AND FINITE ELEMEN METHODS**

**(EMPIRICAL STUDY OF THE ARANIO BRIDGE CONSTRUCTION PROJECT,
BANJAR REGENCY)**

Ilyas Refallandi Kesuma¹, Akhmad Gazali², Eka Purnamasari³

¹ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al
Banjari Banjarmasin, NPM17640241

² Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al
Banjari Banjarmasin, NIDN1108088803

³ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al
Banjari Banjarmasin, NIDN1102018801

*Email: refallandi.12@gmail.com

ABSTRAK

Pondasi bore pile menahan dan meneruskan beban yang bekerja dalam sistem rekayasa konstruksi ke lapisan tanah dibawahnya. Pondasi bore pile memiliki keunggulan dapat menembus batuan jika dibandingkan dengan pondasi tiang pancang hal ini adalah salah satu penyebab digunakannya pondasi ini dalam proyek pembangunan jembatan Aranio. Daya dukung ijin harus lebih besar dari gaya yang bekerja penelitian ini bertujuan mengevaluasi dan membandingkan besarnya daya dukung yang diperoleh dari berbagai metode, efisiensi kelompok tiang pondasi borepile serta penurunan yang terjadi akibat beban yang bekerja. Metode yang digunakan antara lain Reese&Wright, Poulos&Davis, Metode Feld dan Metode Elemen Hingga yaitu software Plaxis2D V 8.6 sebagai alat bantu hitung dan pemodelan, sehingga nantinya hasil analisis dapat dibandingkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya dukung ultimit (Q_u) berdasarkan metode Reese&Wright sebesar 733,22 ton, Metode PDA sebesar 633 ton dan metode elemen hingga sebesar 687,25 ton. Penurunan yang terjadi dengan metode Poulos&Davis sebesar 1,32mm, metode PDA sebesar 7,4 mm dan metode elemen hingga sebesar 1,60mm. Berdasarkan hasil yang diperoleh perlu dilakukan analisis lanjutan dengan metode lainnya, agar di dapatkan hasil yang bervariasi.

Kata Kunci : Bore pile, Metode Elemen Hingga

ABSTRACT

The bore pile foundation holds and transmits the loads that work in the construction engineering system to the subsoil. Bore pile foundations have the advantage of being able to penetrate rocks when compared to pile foundations, this is one of the reasons why this foundation is used in the Aranio bridge construction project. Permitted bearing capacity must be greater than the working force. This study aims

to evaluate and compare the magnitude of the bearing capacity obtained. from various methods, the efficiency of the borepile pile group and the settlement that occurs due to the working load. The methods used include Reese & Wright, Poulos & Davis, Feld Method and Finite Element Method, namely Plaxis2D V 8.6 software as a calculation and modeling tool, so that later the results of the analysis can be compared. The results showed that the ultimate bearing capacity (Q_u) based on the Reese & Wright method was 733.22 tons, the PDA method was 633 tons and the finite element method was 687.25 tons. The decrease that occurs with the Poulos & Davis method is 1.32mm, the PDA method is 7.4 mm and the finite element method is 1.60mm. Based on the results obtained, it is necessary to carry out further analysis with other methods, in order to obtain varying results.

Keywords : Bore pile, Finite Element Method

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemerintah Provinsi Kalimantan Selatan melalui Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) telah melakukan pembangunan, peningkatan, rehabilitasi, pemeliharaan jalan dan jembatan menghubungkan Kota Banjarbaru dan Kabupaten Tanah Bumbu. Jalan Tol Banjarbaru-Batulicin ini memangkas perjalanan dan waktu hampir setengah dari jalan utama yaitu hanya menempuh jarak 130 KM dan waktu sekitar 2-3 jam perjalanan. Pada pembangunan Jalan Tol Banjarbaru-Batulicin ini juga melakukan pembangunan 4 buah jembatan yang salah satunya yaitu Jembatan Aranio yang berlokasi di Jl. Ir. P. M. Noor, Awam Bangkal, Kecamatan Karang Intan Kab. Banjar Kalimantan Selatan 70661.

Pembangunan Jembatan Aranio ini

menggunakan struktur Gider Baja komposit dengan menggunakan pondasi Bore pile, pekerjaan pondasi merupakan pekerjaan yang sangat penting dalam pekerjaan konstruksi, karena pondasi tersebut menahan dan menanggung beban yang bekerja di atasnya yaitu beban struktur atas dan beban yang bekerja pada struktur tersebut.

Kelebihan pondasi tiang bor dapat di pasang menembus batuan dibandingkan tiang pancang. Dalam hal ini penggunaan pondasi bored pile adalah pilihan yang tepat, karena letak jembatan berada di daerah dataran tinggi yang lapisan tanahnya seringkali keras dan berbatu.

Dalam perancangan pondasi, sangat penting untuk menganalisis daya dukung pondasi. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung daya dukung vertikal pondasi berdasarkan data uji penetrasi

standar (SPT), data uji PDA, dan metode elemen hingga.

TINJAUAN PUSTAKA

Daya dukung berdasarkan Data N-SPT menggunakan metode Reese & Wright 1977 adalah sebagai berikut :

1. Daya dukung ujung pondasi *bore pile*

$$Q_p = \rho \cdot A_p$$

dimana:

Q_p = Daya dukung ultimit ujung tiang (Ton).

Q_p = Tahanan ujung per satuan luas (Ton/m²).

A_p = Luas penampang pondasi tiang bor (m²).

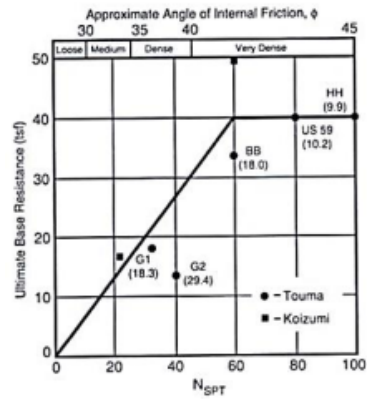
Untuk tipe tanah Kohesif maka menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$q_p = 9 C_u$$

C_u = Kohesi tanah, (Ton/m²)

$$C_u = \frac{2}{3} \cdot N_{spt} \cdot 10$$

Untuk tipe tanah non kohesif menggunakan korelasi antara q_p dan N-SPT dalam gambar di bawah ini



Gambar 1. Daya Dukung Ujung Bored Pile Pada Tanah Non Kohesif untuk $N < 60$ maka $q_p = 7 \cdot N$ (Ton/m²) untuk $N > 60$ maka $q_p = 40$ tsf (Ton/ft²).
 1 tsf (t/ft²) = 9,61 Ton/m²
 N = Nilai SPT.

2. Daya dukung selimut *bored pile (skin friction)*

$$Q_s = f_s \cdot L \cdot P$$

Dimana:

Q_s = Daya dukung ultimit selimut tiang (Ton).

f_s = Gesekan selimut tiang per satuan luas ($\alpha \times C_u$). (Ton/m²).

L = Panjang tiang (m).

P = Keliling penampang tiang (m).

Untuk Tanah Kohesif

$$f_s = \alpha \cdot C_u$$

dimana :

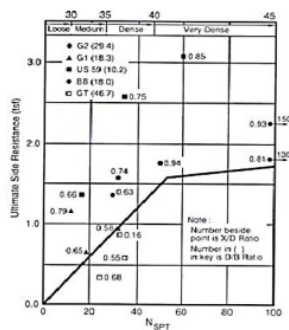
α = Faktor adhesi. Berdasarkan

penelitian *Reese and Wright* (1977) $\alpha = 0,55$

C_u = Kohesi tanah (ton/m²).

Untuk Tanah Non Kohesif

Dimana untuk $N < 53$ maka $f_s = 0,32 N$ -SPT (Ton/m²). Untuk $53 < N < 100$ maka f_s diperoleh dari korelasi langsung dengan N-SPT seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2. Tahanan geser selimut Bored Pile non kohesif

$$Q_{ultimate} = Q_p + Q_s$$

Effisiensi Kelompok Tiang Menggunakan Metode Feld adalah sebagai berikut

$$E_g = 1 - \frac{\text{Jumlah Tiang Yang Mengelilingi}}{\text{Jumlah Tiang}}$$

E_g = Efisiensi Tiang

daya dukung akhir kelompok tiang dinyatakan dengan rumus berikut:

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_a$$

dimana :

Q_g = Beban maksimum kelompok tiang

yang mengakibatkan keruntuhan(kg)

E_g = Efisiensi kelompok tiang (%)

n = Jumlah tiang dalam kelompok

Q_a = Beban maksimum tiang tunggal (kg)

Penurunan Bore Pile dapat di hitung menggunakan metode

Poulos&Davis(1980) sebagai berikut :

$$S = \frac{Q \cdot l}{E_s \cdot D}$$

Untuk tiang apung (floating pile)

$$l = l_o \cdot R_k \cdot R_h \cdot R_\mu$$

Untuk tiang dukung ujung

$$l = l_o \cdot R_k \cdot R_b \cdot R_\mu$$

$$K = \frac{E_p \cdot R_A}{E_s}$$

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

Dengan

S =Penurunan Kepala Tiang

Q =Beban yang bekerja

l_o =Faktor pengaruh penurunan untuk tiang yang tidak mudah mampet (incompressible) dalam masa semi tak terhingga (Gambar 2.14)

R_k =Faktor koreksi kemudah-mampatan (kompresibilitas) tiang

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

R_b = Faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung

R_μ = Faktor koreksi angka poisson μ

H = Kedalaman total lapisan tanah

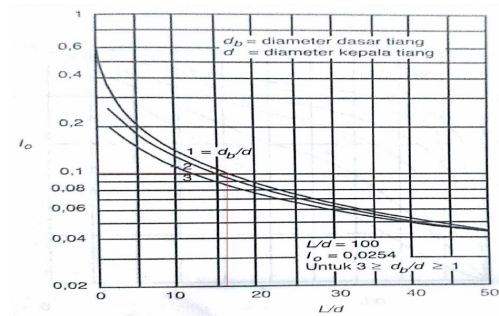
K = Faktor kekakuan tiang

RA = Rasio area tiang

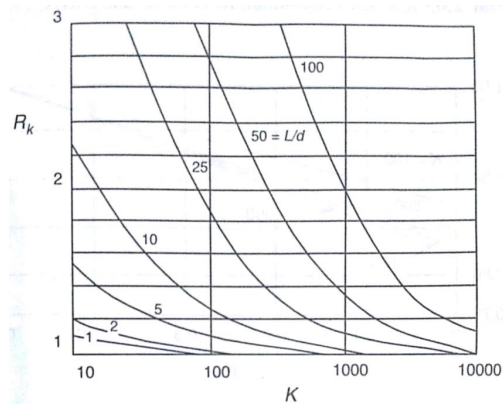
Ep = Modulus elastisitas tiang

Es = Modulus elastisitas tanah

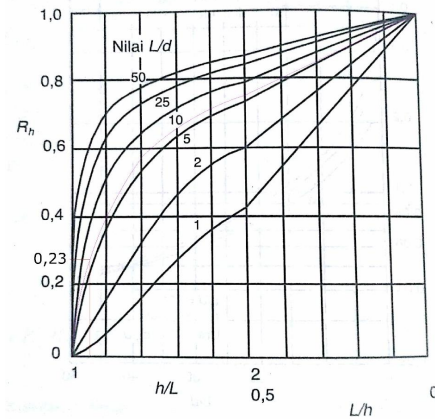
Ap = Luas penampang tiang



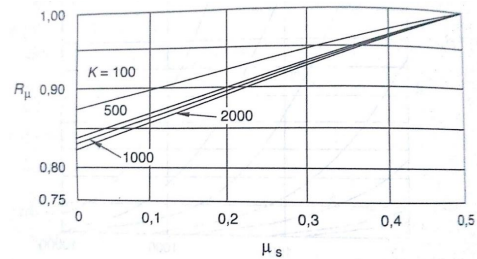
Gambar 3. Faktor penurunan l_o menurut Paulus & Davis 1980



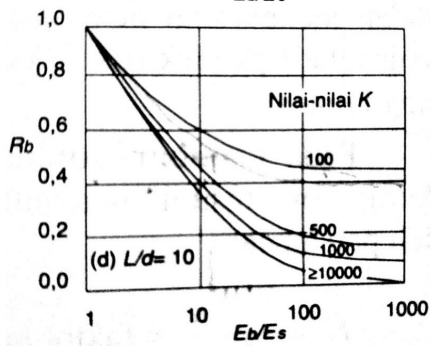
Gambar 4. Faktor kompresi R_k menurut Paulus & Davis 1980



Gambar 5. Koreksi kedalaman R_h menurut Paulus & Davis 1980



Gambar 6. Koreksi angka poisson menurut Paulus & Davis 1980



Gambar 7. Koreksi kekakuan lapisan pendukung menurut Paulus & Davis 1980

Gambar 7. Peta Lokasi penelitian Proyek Pembangunan Jembatan Aranio Jl.Ir. P. M. Noor, Awang Bangkal, Kecamatan Karang Intan Kabupaten Banjar Provinsi Kalimantan Selatan 70661.

METODELOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan untuk mengevaluasi besarnya daya dukung vertikal pondasi bore pile, menghitung daya dukung kelompok tiang penurunan yang terjadi berdasarkan data N-SPT, PDA, dan Metode Elemen Hingga pada proyek pembangunan Jembatan Aranio Kabupaten Banjar. Data Primer diperoleh langsung yang berupa wawancara maupun hasil observasi dari lapangan serta data-data sekunder yang digunakan berupa data umum proyek, Shopdrawing, N-SPT, PDA

Adapun Data teknis pondasi bore pile sebagai berikut:

1. Panjang Borepile : 18 m
2. Diameter Borepile : 80 cm
3. Mutu beton : F_c 30 Mpa
4. Slump beton : 18-20 cm

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 8. Data N-SPT pada Bore Hole 2 BH2

Perhitungan daya dukung ultimate pada titik BH-2 adalah sebagai berikut:

Data *Bore Pile*:

Dimensi Tiang (d) = 80 cm

Keliling Tiang (p) = $\pi \cdot d$

$$= 3,14 \cdot 80 \text{ cm}$$

$$= 251,2 \text{ cm} = 2,512 \text{ m}$$

$$\text{Luas Bore Pile} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 80^2 \text{ cm}$$

$$= 5024 \text{ cm}^2 = 0,5024 \text{ m}^2$$

Untuk daya dukung ujung pada tanah non kohesif dapat diketahui dengan

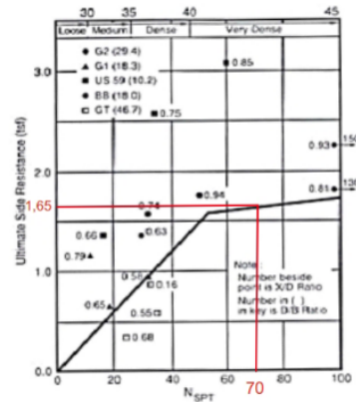
menggunakan grafik Reese&Wright pada Gambar 2.11. Untuk lapisan tanah pada kedalaman 12 m : $N\text{-SPT} = 60/10$. Karena $N\text{-SPT} < 60$ maka q_p adalah 40 tsf = 384,425 ton/m² maka :

$$Q_p = q_p \cdot A_p$$

$$Q_p = 384,425 \text{ ton/m}^2 \cdot 0,5024 \text{ m}^2$$

$$Q_p = 193,135 \text{ ton}$$

Untuk tanah non kohesif pada kedalaman 12 m nilai f_s dapat di ketahui dengan menggunakan grafik Reese & Wright (Gambar 2.12) untuk $53 < N < 100$.



Gambar 9. Menentukan nilai tahanan selimut pada tanah non-kohesif

Untuk $N < 53$ maka digunakan :

$$f_s = 1,65 \text{ tsf}$$

$$1 \text{ tsf} = 9,61 \text{ ton/m}^2$$

$$f_s = 1,65 \cdot 9,61$$

$$f_s = 15,867 \text{ ton/m}^2$$

$$Q_s = 15,867 \cdot 2 \cdot 2,512 = 79,668 \text{ ton.}$$

$$Q_{ultimate} = Q_p + Q_s$$

$$Q_{ultimate} = 193,135 + 79,668$$

$$= 272,803 \text{ ton}$$

Perhitungan selanjutnya ditampilkan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 1. Pehitungan Daya Dukung Vertikal Pondasi Bore Pile pada titik BH.2

Depth (m)	N-spt	Deskripsi	A	Cu (ton/m ²)	Skin Friction (ton)	End Bearin g (ton)
0	0	Lempun g	0,5 5	0	0	0
2	3	Lempun g	0,5 5	2,0	5,522	9,0432
4	9	Batu kerikil	0	0	19,991	271,29€
6	7 4	Batu kerikil	0	0	102,55 6	193,13€
8	7 3	Batu kerikil	0	0	184,15 5	193,13€
10	7 0	Batu breksi	0	0	263,82 3	193,13€
12	7 0	Batu breksi	0	0	343,49 1	193,13€
14	6 8	Batu breksi	0	0	422,67 6	193,13€
16	6 8	Batu breksi	0	0	501,86 1	193,13€
18	6 6	Batu breksi	0	0	580,08	193,13€

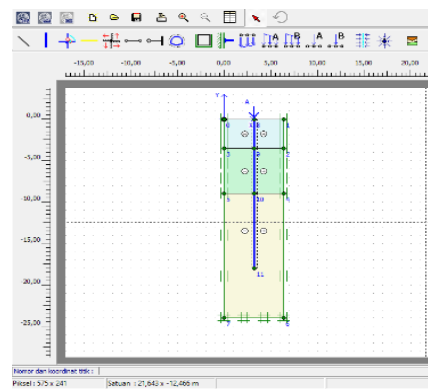
Data Hasil Uji PDA

Tabel 2. Hasil Uji PDA

Pile No.	End Bearin g (Ton)	Skin Frictio n (Ton)	Q Ultimi (Ton)	Penuruna n (mm)
P1 BP 2	49	584	633	7,4

Perhitungan Daya dukung pondasi Bore pile menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan software Plaxis hingga dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Mengambarkan geometri pondasi dan lapisan tanah berdasarkan data N-SPT dengan menggunakan model aximetris 12 nodal dan pemodelan tanah mohr coulumb



Gambar 10. Menggambarkan Geometri Tanah pada Metode Elemen Hingga

2. Memasukkan parameter tiang dan tanah

Tabel 3. Parameter Tiang dalam Metode Elemen Hingga

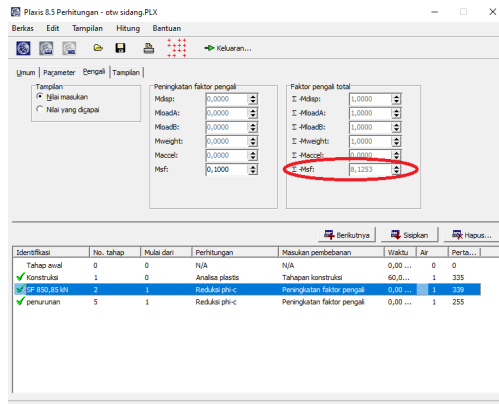
Lokasi	Panjang (m)	Diameter (m)	EA (kN/m)	EI (kN m ² /m)	Angka Poisson
P1 BP 2	18	0,8	12.930.000	1640000	0,3

Tabel 4. Parameter Tanah dalam Metode Elemen hingga

Parameter	Layer 1 Lempung	Layer 2 Batu Kerikil	Layer 3 Batu Breksi
MAT (m)	1,7		
E _s	30.000	250.000	500.000
v poisson ratio	0,3	0,3	0,3
γ _{dry} (kN/m ³)	19,6	18	18
γ _{sat} (kN/m ³)	20,2	20	20
C (kN/m ³)	17,4		
K _x (m/day)	0,019008	0,863	0,863
K _y (m/day)	0,019008	0,863	0,863
∅	20	42,1	42,1
ψ	20	42,1	42,1

3. Melakukan program perhitungan dengan beberapa tahap mulai dari tahap konstruksi, perhitungan faktor keamanan dan penurunan.

Hasil dari metode elemen hingga dengan bantuan software Plaxis mendapatkan faktor keamanan sebesar 8,125 maka daya dukung ultimitnya sebagai berikut

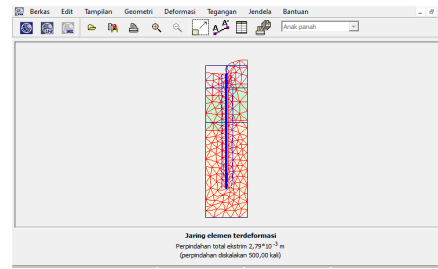


Gambar 11. Hasil Faktor Keamanan Metode Elemen Hingga

$$\begin{aligned}
 Q_u &= \text{Beban Ultimit} \times \text{Faktor keamanan} \\
 &= 85,087 \text{ ton} \times 8,125 \\
 &= 691,33 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan penurunan menggunakan metode elemen hingga

sebesar 2,79 mm.



Gambar 12. Hasil Penurunan Metode Elemen Hingga

Perhitungan Efisiensi Kelompok Tiang menggunakan Metode Feld menggunakan Sebagai berikut :

$$E_g = 1 - \frac{\text{Jumlah Tiang Yang Mengelilingi}}{\text{Jumlah Tiang}}$$

$$E_g A = 5 \cdot \left(1 - \frac{8}{23}\right) = 3,260$$

$$E_g B = 2 \cdot \left(1 - \frac{6}{23}\right) = 1,478$$

$$E_g C = 10 \cdot \left(1 - \frac{5}{23}\right) = 7,826$$

$$E_g D = 4 \cdot \left(1 - \frac{4}{23}\right) = 3,304$$

$$E_g E = 2 \cdot \left(1 - \frac{3}{23}\right) = 1,739$$

$$E_g = \frac{3,260 + 1,478 + 7,826 + 3,304 + 1,739}{23} = 0,765$$

$$Q_g = 0,765 \cdot 23 \cdot 386,6 = 6.802,277 \text{ Ton}$$

Perhitungan penurunan segera Menurut Poulos&Davis(1980) sebagai berikut :

$$S = \frac{Q \cdot l}{E_s \cdot d}$$

$$Q = 54,54 \text{ ton} = 545,4 \text{ kN}$$

$$E_s = 6500 \text{ lb/in}^2$$

$$= 44.815 \text{ Kpa}$$

$$= 44,815 \text{ Mpa}$$

$$E_P = 4700 \cdot \sqrt{30}$$

$$= 25.742,9602 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} E_B &= 10 \times E_s \\ &= 10 \times 44,81 \\ &= 448,16 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_A &= \frac{0,5024}{\frac{1}{4} \cdot \pi(0,8)^2} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K &= \frac{E_p \cdot R_A}{E_s} \\ &= \frac{25742,96.1}{44,815 \text{ MPa}} \\ &= 574,426 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{Untuk } \frac{d_b}{d} = \frac{0,8}{0,8} = 1$$

$$\text{Untuk } \frac{L}{D} = \frac{18}{0,8} = 22,5$$

Dengan menggunakan grafik pada Gambar 3,4,5,6,7 diperoleh $l_0 = 0,08$, $L/D=22,5$, $db/d= 1$, $R_\mu = 0,935$ (untuk $\mu_s = 0,3$ dan $K=574,426$), $R_k = 1,25$ (untuk $L/d = 22,5$ dan $K = 574,426$), $R_h = 0,63$ (untuk $L/D= 22,5$ dan $h/l= 1,33$), $R_b = 0,44$ (untuk $E_b/E_s = 10$ dan $K = 574,406$)

Untuk tiang apung adalah :

$$\begin{aligned} I &= 0,08 \times 1,25 \times 0,935 \times 0,63 \\ &= 0,0589 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{850,878 \text{ kN} \cdot 0,058905}{44815 \text{ KPa} \cdot 0,8 \text{ m}} \\ &= 0,00139 \text{ m} = 1,39 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk Tiang dukung ujung adalah :

$$\begin{aligned} I &= 0,08 \times 1,25 \times 0,935 \times 0,44 \\ &= 0,04114 \end{aligned}$$

$$S = \frac{850,878 \text{ kN} \cdot 0,04114}{44815 \cdot 0,8}$$

$$= 0,000976 \text{ m} = 0,976 \text{ mm}$$

Sehingga penurunan total pondasi sebagai berikut :

$$S_{\text{Total}} = 1,39 + 0,976$$

$$S_{\text{Total}} = 2,366 \text{ mm}$$

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Daya dukung dan Penurunan

Metode	Q Ultimate (ton)	Penurunan (mm)	Kedalaman (m)
Metode Analistis			
Reese&Wright 1977	733,22		18
Poulus&Davis 1980		2,36	18
Uji PDA	633,00	7,4	18
Metode Elemen Hingga	691,33	2,79	18

Berdasarkan Tabel diatas diketahui hasil perhitungan menggunakan metode Reese^&Wright memiliki nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan metode elemen hingga dan hasil uji PDA di lapangan, sehingga konstruksi pondasi dapat dikatakan aman karna hasil perhitungan daya dukung yang sifatnya adalah perencanaan yaitu metode elemen hingga dan Reese&Wrgh memiliki nilai yang lebih besar dengan selisih yang dapat di terima dari hasil pengujian PDA di lapangan.

Penurunan pondasi bore pile menggunakan metode Poulus&Davis, dan metode elemen hingga memiliki nilai yang lebih kecil jika di bandingkan dengan hasil uji PDA hal ini di sebabkan pada netode elemen hingga dan

poulos&Davis penurunan segera di hitung berdasarkan beban yang bekerja sedangkan pengujian PDA di lapangan menghitung penurunan dengan beban yang besarnya mendekati daya dukung ultimit.

Kesimpulan

Setelah dilakukan perhitungan daya dukung vertikal pondasi *bore pile* kesimpulan dari penelitian ini adalah

1. Hasil evaluasi dan perbandingan besarnya daya dukung vertikal pondasi *bore pile* menggunakan metode Reese&Wright 1977 didapat $Q_u = 733,21$ ton, menggunakan metode elemen hingga didapat $Q_u = 691,33$ ton, dan hasil PDA $Q_u = 633$ ton.
2. Hasil Penurunan pondasi *bore pile* menggunakan metode Poulos&Davies 1980 = 2,36 mm, menggunakan metode elemen hingga = 2,79 mm dan menggunakan data PDA di dapat penurunan total = 7,4 mm.
3. Hasil perhitungan efisiensi kelompok tiang (E_g) dengan metode Feld = 0,765, maka hasil perhitungan nilai daya dukung kelompok (Q_g) sebesar 6.802,221 ton

Saran

1. Data yang digunakan untuk perencanaan harus lengkap dan sesuai dengan standar yang berlaku.

2. Pengujian PDA sebaiknya di iringi dengan uji pembebanan atau loading test agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal.
3. Parameter tanah yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari kolerasi-kolerasi yang tersedia. Namun, besar harapan untuk peneliti selanjutnya agar melengkapi data laboratorium sehingga hasil penelitian lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E. 1984. *Sifat-Sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. (I. J. Hainim, Penerj.) Erlangga.
- , 1997. *Analisis Dan Desain Pondasi Edisi Keempat Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. 2011. *Principles of Foundation Engineering*. United States Of America: Cengage Learning.
- Fathonah, W. 2017. Analisis Parameter Model Tanah Nonlinier Elastoplastic Menggunakan Plaxis 2D untuk Studi Kasus Galian Dalam. *Jurnal Fondasi, Volume 6 No 1*.
- Hardiyatmo, H. C. 2012. *Analisa dan Perancangan Pondasi II Edisi Ketiga*. Yogyakarta: Gadjah Mada

University Press.

-----, 2012. *Mekanika Tanah I Edisi 6*. Yogyakarta: Gadjahmada University Press.

-----, 2012. *Mekanika Tanah II Edisi 6*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Malau, P. P. 2020. Perbandingan Analisa Besar Daya Dukung Pondasi Bore Pile Pada STA 29+800 Di Tirik A Menggunakan Metode Elemen Hingga Terhadap Metode Analitik .

RSNI T 02 2005 Pembebanan Jembatan

SNI 8459. 2017 Metode Uji fondasi dalam dengan High Strain Dynamic Pile

SNI 4153. 2008 Cara Uji Penertrasi Lapangan Dengan SPT

Supriyadi, B., & Muntohar, A. S. 2007. *Jembatan*. Yogyakarta: Beta Offset.

Haq, D. 2018. Pengaruh Variasi Dimensi Terhadap Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor Kelompok Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga.