

# ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI PADA PEMBANGUNAN JALUR GANDA KERETA API

Yonas Prima Arga Rumbyarso<sup>1</sup>, Bermando Mangatur Siagian<sup>2</sup>, Muhammad Arief Aldianto<sup>3</sup>  
Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Krisnadwipayana, Indonesia  
yonasprima@unkris.ac.id

## Abstrak

Pondasi *borepile* merupakan pilihan yang tepat mengingat lokasi proyek yang bertempat di daerah padat penduduk dan memiliki kondisi geologi tanah yang berkadar air cukup tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daya dukung pondasi *borepile* berdasarkan data sondir dan standar penetrasi test, dan menganalisis perbandingan perhitungan penurunan (*settlement*) secara manual dan dengan menggunakan aplikasi *Plaxis 3D*. Metodologi penelitian dilakukan dengan cara observasi, dan metode penelitian yang diterapkan pada penulisan Tugas Akhir ini adalah berbentuk studi kasus.

Pada analisis daya dukung *borepile* dengan data sondir S-2 dengan kedalaman 10 m menggunakan metode *mayerhoff* diperoleh  $Q_{ult} = 152,403$  ton,  $Q_{ijin} = 32,15527$ ,  $Q_{total} = 718,4571$ , dan  $Q_{ijin} = 160,4381$  ton, dan untuk data SPT menggunakan metode *Reese & Wright* pada *borepile* titik A18 didapat  $Q_u = 1163,89$  ton, dan  $Q_{ijin} = 387,964$  ton. Pada analisis penurunan *borepile* tunggal pada titik A18, untuk cara manual menggunakan metode semi empiris didapat  $S = 15$  mm dan metode *vesic* didapat  $S = 12,8$  mm, kemudian output program *plaxis 3D* didapat  $S = 19,2$  mm, dan hasil PDA test didapat  $S = 5$  mm. Dalam analisis penurunan yang telah dilakukan hasil penurunan telah memenuhi syarat penurunan pondasi menurut SNI 8460: 2017 yakni sebesar 25 mm.

**Kata kunci:** Pondasi *Borepile*, Daya Dukung, Penurunan (*Settlement*)

## Abstract

*Given that the project site is in a highly populated area and has a geological condition of soil with a relatively high water content, the borepile foundation is the best option. The purpose of this study is to compare settlement estimates made manually and using the Plaxis 3D application, as well as to examine the bearing capability of the borepile foundation utilizing sondir data and conventional penetration tests. The research methodology used to write this final project was a case study, and it involved observation as the primary data collection tool. Using the Mayerhoff method, the following values were determined for the borepile bearing capacity:  $Q_{ult} = 152.403$  tons,  $Q_{ijin} = 32.15527$ ,  $Q_{total} = 718.4571$ , and  $Q_{ijin} = 160.4381$ . and for SPT data using the Reese & Wright method at borepile point A18 obtained  $Q_u = 1163.89$  tons, and  $Q_{ijin} = 387.964$  tons. In the manual method of the semi-empirical method and the vesic method for the analysis of the single borepile drop at point A18,  $S = 15$  mm and  $S = 12.8$  mm, respectively. The output of the Plaxis 3D program is  $S = 19.2$  mm, and the PDA test results are achieved.  $S = 5$  mm. The results of the settlement analysis, which was performed, have complied with SNI 8460: 2017's standards for foundation settlement, which is 25 mm.*

**Keywords:** *Borepile Foundation, Bearing Capacity, Settlement*

## 1. PENDAHULUAN

Untuk meningkatkan peranan angkutan kereta api dikalangan masyarakat, maka dilakukan peningkatan sarana dan prasarana, salah satunya adalah dengan cara membangun jalur ganda kereta api khususnya di daerah dengan volume angkutan yang padat, seperti pada Pembangunan Jalur Ganda Kereta Api KM.1+600 – KM.4+200 antara Bogor Paledang – Batu Tulis Lintas Bogor - Sukabumi yang dicanangkan sebagai salah satu bentuk tanggung jawab pemerintah terhadap kebutuhan angkutan penumpang dan barang untuk menjamin perjalanan kereta api yang aman dan tepat waktu.

Proyek Pembangunan Jalur Ganda Kereta Api KM.1+600 – KM.4+200 antara Bogor Paledang – Batu Tulis Lintas Bogor - Sukabumi ini bertempat di daerah padat penduduk dan bertatap langsung dengan sungai Cisadane yang mengakibatkan kontur tanah pada lokasi ini berupa tebing dan memiliki kondisi geologi tanah yang memiliki kadar air cukup tinggi dan didominasi oleh tanah lempung, sehingga diperlukan pembuatan tumpuan baru untuk menopang jalur rel yang akan dibangun, dalam kasus ini maka pondasi tiang bor atau yang biasa disebut dengan pondasi *borepile* menjadi pilihan yang tepat. Dalam perencanaannya, sangatlah penting dilakukannya analisis mengenai daya dukung pondasi, hal ini bertujuan untuk mempertimbangkan nilai kegunaannya berdasarkan faktor keamanan dan pemeliharannya, sebab pondasi *borepile* pada proyek ini direncanakan berdasarkan fungsi transportasi untuk kepentingan umum, sehingga diharapkan dapat bertahan untuk waktu yang relatif lama. Sehingga penulis akan membahas mengenai “Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Pada Pembangunan Jalur Ganda Kereta Api”.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Tinjauan Umum

Pondasi *borepile* biasanya digunakan pada tanah yang stabil sehingga memungkinkan untuk melakukan pembentukan lubang dengan alat bor, apabila didapati kandungan air pada tanah maka dibutuhkan sebuah pipa besi atau yang disebut sebagai *casing* untuk menahan dinding lubang agar tidak terjadi keruntuhan. Pondasi *borepile* juga digunakan apabila di sekitar lokasi proyek pembangunan terdapat banyak bangunan atau berlokasi di dekat pemukiman padat penduduk seperti ditengah kota dan sebagainya, sebab pembuatan pondasi ini dilakukan dengan cara pengeboran pada tanah sehingga lebih meminimalisir getaran yang terjadi pada saat pengerjaan dan tentunya juga meminimalisir terjadinya kerusakan pada bangunan disekitar proyek pembangunan jika dibandingkan dengan pengerjaan pondasi tiang pancang.

### 2.2 Kapasitas Daya Dukung *Borepile* Berdasarkan Hasil Sondir

Untuk menghitung daya dukung pondasi *borepile* berdasarkan hasil sondir, dilakukan dengan menggunakan metode *Mayerhoff*, seperti sebagai berikut:

$$Q_{ult} = (q_c \times A_p) + (JHL \times K_l) \quad (1)$$

dimana:

$Q_{ult}$  = Kapasitas daya dukung.

$q_c$  = Tahanan ujung sondir.

$A_p$  = Luas penampang tiang.

$JHL$  = Jumlah hambatan lekat.

Kl = Keliling tiang.

Daya dukung ijin pondasi dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:  $q_c$

$$Q_{ijin} = \frac{A_p \times JHL}{3} + \frac{Kl}{5} \quad (2)$$

dimana:

$q_c$  = Tahanan ujung sondir.

$A_p$  = Luas penampang tiang.

JHL = Jumlah hambatan lekat.

Kl = Keliling tiang.

### 2.3 Kapasitas Daya Dukung Berdasarkan N-SPT

Berikut adalah metode untuk menghitung daya dukung berdasarkan data SPT menurut *Reese and Wright*:

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (3)$$

dimana:

$Q_u$  = Daya dukung Ultimit (ton)

$Q_p$  = Daya dukung ujung tiang (ton)

$Q_s$  = Daya dukung selimut tiang (ton)

#### Daya dukung ujung pondasi *borepile* (*end bearing*) ( $Q_p$ )

$$Q_p = A_p \times q_p \quad (4)$$

dimana:

$Q_p$  = Daya dukung ujung (ton)

$A_p$  = Luas penampang *borepile*, ( $m^2$ ).

$q_p$  = Tahanan ujung per satuan luas, ( $ton/m^2$ ).

Untuk tanah Kohesif:

$$q_p = 9 \times C_u \quad (5)$$

dimana:

$C_u$  = Kohesi tanah =  $\frac{2}{3} \times NSPT \times 10 = KN/m^2$

#### Daya dukung selimut *borepile* (*skin friction*)

$$Q_s = f_s \times L \times p \quad (6)$$

dimana:

$Q_s$  = Daya dukung selimut tiang, (ton).

$f_s$  = Tahanan satuan *skin friction*, ( $ton/m^2$ ).

L = Panjang lapisan tanah, (m).

p = Keliling tiang, (m).

Untuk tanah Kohesif:

$$f_s = \alpha \times C_u \quad (7)$$

dimana:

$\alpha$  = Faktor adhesi. (Berdasarkan penelitian Reese & Wright (1977)  $\alpha = 0,55$ )  $C_u$   
= Kohesi tanah, (KN/m<sup>2</sup>)

## 2.4 Penurunan (*Settlement*)

Istilah penurunan (*settlement*) digunakan untuk menunjukkan sebuah Gerakan pada titik tertentu bangunan terhadap titik referensi yang tetap (Hardiyatmo, 2002). *Settlement* terjadi akibat terbebannya lapisan tanah sehingga tanah mengalami perubahan susunan maupun pengurangan rongga pori atau air sehingga terjadilah regangan yang membuat tanah perlahan bergerak turun. Berikut adalah beberapa metode untuk menghitung penurunan:

### 1. Metode Semi Empiris

Penurunan suatu pondasi tiang setelah menerima beban vertical ( $Q_w$ ) akan mengalami tiga macam penurunan yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$S = S_s + S_p + S_{ps} \quad (8)$$

Dimana:

S = Penurunan total tiang

$S_s$  = Penurunan akibat deformasi axial

$S_p$  = Penurunan akibat beban beban diujung tiang

$S_{ps}$  = Penurunan dari lapisan tanah disepanjang tiang pondasi akibat beban yang ditrasfer melalui tiang tersebut.

Penjelasan untuk menentukan besaran dari masing – masing penurunan dapat disampaikan sebagai berikut:

#### a. Menurunkan haraga $S_s$

Apabila diasumsikan bahwa material dari tiang adalah elastic, maka deformasi dari tiang pondasi dapat dievaluasi dengan menggunakan persamaan dari mekanika bahan sebagai berikut:

$$S_s = \frac{(Q_p + \alpha \times Q_s)L}{A_p \times E_p} \quad (9)$$

dimana:

$Q_p$  = daya dukung ujung *borepile*

$Q_s$  = daya dukung selimut *borepile*

$A_p$  = luas penampang *borepile*

L = panjang *borepile*

Ep = modulus elastisitas material *borepile*

Menurut PBI-1971 Untuk mutu beton K-350 memiliki modulus elastisitas (Ep) sebesar 25310 Mpa atau 2580901,7 ton/m<sup>2</sup>

Untuk distribusi gesekan seragam atau parabolik sepanjang tiang  $\alpha = 0,5$

**Tabel 2. 1 konversi Kuat Tekan Beton & Modulus Elastisitas**

Kubus (K) kg/cm <sup>2</sup>	Silinder ( $f_c'$ ) MPa	Modulus (E) MPa
175	15	18203
225	19	20487
275	23	22540
300	25	23500
350	29	25310
400	33	26999

Sumber: PBI-1971

### b. Menentukan harga $S_p$

Penurunan dari tiang pondasi yang disebabkan karena beban ujung tiang sama seperti penurunan pada pondasi langsung yaitu:

$$S_p = \frac{CP \times Q_p}{D \times q_p} \quad (10)$$

Dimana:

CP = koefisien empiris

Qp = daya dukung ujung tiang

D = Diameter tiang

$q_p$  = daya dukung batas ujung tiang

$$q_p = 9 \times C_u \quad (11)$$

dimana:

$C_u$  = Kohesi tanah (KN/m<sup>2</sup>) =  $^2_3 \times \text{NSPT} \times 10$

### c. Menentukan harga $S_{ps}$

Perlu dijelaskan disini bahwa penurunan  $S_{ps}$  ini untuk pondasi tiang yang didukung oleh lapisan batuan relatif tegangan geser antara tiang dengan tanah hampir tidak ada atau

dapat dihilangkan karena hampir semua beban pondasi didukung oleh ujung tiang yang terletak diatas lapisan tanah.

Namun demikian tetap perlu untuk diketahui karena apabila penurunan pada lapisan batuan cukup besar, maka tegangan geser antara tiang dan tanah akan bekerja penuh.

$$S_{ps} = p \times L \times E_s \times (1 - \mu_s) \quad (12)$$

Dimana:

P = keliling lingkaran

L = panjang tiang pondasi

Iws = "Influence Factor"

$$Iws = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}}$$

Menurut Braja M. Das (2010) untuk mendapatkan modulus elastisitas tanah dapat menggunakan korelasi dari pengujian N-SPT dengan menggunakan persamaan *Schmermaan* sebagai berikut:

$$E_s = 766 \times N\text{-SPT} \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$E_s = 2 q_c \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

**Tabel 2. 2 Nilai Koefisien (Cp)**

Jenis Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
Pasir	0,02 – 0,04	0,09 – 0,18
Jenis Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
Lempung	0,02 – 0,03	0,03 – 0,06
Lanau	0,03 – 0,05	0,09 – 0,12

**Tabel 2. 3 Angka Poisson ( $\mu$ )**

Jenis Tanah	Meter (m)
Lempung Jenuh	0,4 – 0,5
Lempung Tak Jenuh	0,1 – 0,3
Lempung Berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir Padat	0,2 – 0,4
Pasir Kasar (angka pori e= 0,4 – 0,7)	0,15
Pasir Halus (angka pori e= 0,4 – 0,7)	0,25
Batu	0,1 – 0,4
Loose	0,1 – 0,3

**Tabel 2. 4 Modulus Elastis Tanah (Es)**

Jenis Tanah	Es (kN/m)
<b>Lempung</b>	
Sangat Lunak	300 – 3000
Lunak	2000 – 4000
Sedang	4500 – 9000
Keras	7000 – 20000
Berpasir	30000 – 42500
<b>Pasir</b>	
Berlanau	5000 – 20000
Tidak Padat	10000 – 25000
Padat	50000 – 100000
<b>Pasir dan Kerikil</b>	
Padat	80000 – 200000
Tidak Padat	50000 – 140000
Lanau	2000 – 20000
Loess	15000 – 60000
Serpih	140000 - 1400000

## 2. Metode Vesic

$$S = D + \frac{Q \times L}{100 \times A_b \times E_b} \quad (13)$$

Dimana:

- S = Penurunan total *borepile*  
 D = Diameter *borepile*  
 Q = Beban kerja *borepile*  
 L = Panjang *borepile*  
 A<sub>b</sub> = Luas penampang *borepile*  
 E<sub>b</sub> = Modulus elastisitas material *borepile*  
 Beban kerja *borepile* (Q) = 10827,40 ton/38 = 284,93 ton

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan adalah data borlog pada titik BH-04 dan data sondir pada titik S-2 yang merupakan titik terdekat dari titik *borepile* A18.

Data *borepile*:

- Panjang = 22 m  
 Diameter (d) = 80 cm = 0,8 m  
 Keliling (p) =  $\pi \times d$   
 = 3,14 x 0,8 = 2,512 m  
 Luas (A<sub>p</sub>) =  $\pi r^2$   
 = 3,14 x 0,4<sup>2</sup> 0,5024  
 = m<sup>2</sup>

### 3.1 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Borepile Dari Hasil Sondir

Berikut adalah perhitungan daya dukung *ultimate* (Qult) berdasarkan data sondir dengan metode *Mayerhoff*:

Data yang diperoleh dari titik sondir S-2:

Tahanan konus (qc) pada 10 m = 250 kg/cm<sup>2</sup>

Jumlah Hambatan Lekat pada kedalaman 1 m = 30 kg/cm

$$\begin{aligned} \text{Qult} &= (\text{qc} \times \text{Ap}) + (\text{JHL} \times \text{Kl}) \\ &= (250 \times 50,24) + (556,7 \times 251,2) \\ &= 152.403 \text{ kg} = 152,403 \text{ ton} \end{aligned}$$

Daya dukung ijin pondasi (Qijin)

$$\begin{aligned} \text{Qijin} &= \frac{\text{qc} \times \text{Ap}}{3} + \frac{\text{JHL} \times \text{Kl}}{5} \\ &= \frac{250 \times 50,24}{3} + \frac{556,7 \times 251,2}{5} \\ &= 32.155,27 \text{ kg} = 32,15527 \text{ ton} \end{aligned}$$

**Tabel 3. 1 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Perlayer Dengan Metode Mayerhoff**

Kedalaman (m)	Tahanan konus qc (kg/cm <sup>2</sup> )	Ap (cm <sup>2</sup> )	JHL (kg/cm)	Kl (cm)	Qult (ton)	Qijin (ton)
1	9	50,24	20	251,2	5,47616	1,15552
2	14	50,24	33,3	251,2	9,06832	1,907445
3	21	50,24	66,7	251,2	17,81008	3,702688
4	35	50,24	110	251,2	29,3904	6,112533
5	18	50,24	195	251,2	49,88832	10,09824
6	9	50,24	231,7	251,2	58,6552	11,79133
7	12	50,24	250	251,2	63,40288	12,76096
8	35	50,24	310	251,2	79,6304	16,16053
Kedalaman (m)	Tahanan konus qc (kg/cm <sup>2</sup> )	Ap (cm <sup>2</sup> )	JHL (kg/cm)	Kl (cm)	Qult (ton)	Qijin (ton)
9	100	50,24	406,7	251,2	107,187	22,10727
10	250	50,24	556,7	251,2	152,403	32,15527

Sumber: Hasil Pengolahan Data

### 3.2 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung *Borepile* Berdasarkan N-SPT

Berikut adalah perhitungan daya dukung *ultimate* ( $Q_{ult}$ ) berdasarkan data N-SPT pada BH-04 dengan metode *Reese & Wright*:

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

Dimana:

$Q_p$  = daya dukung ujung

$Q_s$  = daya dukung selimut

#### 1. Daya dukung ujung *borepile* ( $Q_p$ )

$$\begin{aligned} Q_p &= 9 \times C_u \times A_p \times C_u \times N\text{-SPT} \times 10 \\ &= \frac{2}{3} \times 50 \times 10 \\ &= 333,33 \text{ KN/m}^2 = 33,33 \text{ ton/m}^2 \\ Q_p &= 9 \times 33,33 \text{ ton/m}^2 \times 0,5024 \text{ m}^2 \\ &= 150,7 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### 2. Daya dukung selimut *borepile* ( $Q_s$ )

$$\begin{aligned} Q_s &= \alpha \times C_u \times p \times L \\ &= 0,55 \times 33,33 \text{ ton/m}^2 \times 2,512 \text{ m} \times 22 \text{ m} \\ &= 1013,17 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= 150,7 \text{ ton} + 1013,17 \text{ ton} \\ &= 1163,89 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### Daya dukung izin ( $Q_{all}$ )

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_{ult}}{S_f} \\ &= \frac{1163,89}{3} \\ &= 387,96 \text{ ton} \end{aligned}$$

### 3.3 Daya Dukung dan Penurunan Pondasi *Borepile* Berdasarkan PDA Test

Berikut merupakan hasil PDA test pada titik A18

**Tabel 3. 2 Hasil Pengujian PDA pada tiang A18**

KODE	KETERANGAN	Tiang: JGKA-SOP-A18
BN	Pukulan	1
RSU	Daya dukung tiang [ton]	738
FMX	Gaya tekan maksimum [ton]	513
CTN	Gaya tarik maksimum [ton]	240
EMX	Energi maksimum yang ditransfer [tonm]	1,85
DMX	Penurunan maksimum [mm]	5
DFN	Penurunan permanen [mm]	1
STK	Tinggi jatuh palu [m], drop hammer	0
BPM	Pukulan per menit, drop hammer	1,9
BTA	Nilai keutuhan tiang [%], lihat hasil CAPWAP	100
LE	Panjang tiang dibawah instrumen [m]	20,8
LP	Panjang tiang tertanam [m]	20,5
AR	Luas penampang tiang [cm <sup>2</sup> ]	6231,9

### 3.4 Penurunan Pondasi *Borepile* Dengan Metode Semi Empiris

Penurunan pada pondasi tunggal dengan metode semi empiris yang dapat dilihat pada persamaan (2.10) sebagai berikut:

$$S = S_s + S_p + S_{ps}$$

#### Penurunan akibat deformasi axial ( $S_s$ )

$$\begin{aligned}
 S_s &= \frac{(Q_p + \alpha \times Q_s)L}{A_p \times E_p} \\
 &= \frac{(150,7 + 0,5 \times 1013,17)22}{0,5024 \times 2580901,7} \\
 &= \frac{14460,27}{1296645,01}
 \end{aligned}$$

$$S_s = 0,011 \text{ m}$$

#### Penurunan akibat beban beban diujung tiang ( $S_p$ )

$$\begin{aligned}
 S_p &= \frac{CP \times Q_p}{D \times q_p} \\
 q_p &= 9 \times C_u \\
 &= 2999,9 \\
 S_p &= 0,05 \times 150,7 \\
 &= \frac{0,8 \times 2999,9}{7,53} \\
 &= 2399,9
 \end{aligned}$$

$$S_p = 0,00314 \text{ m}$$

Penurunan dari lapisan tanah disepanjang tiang pondasi ( $S_{ps}$ )

$$S_{ps} = (p_{qp} \times L) \times E_s \times D \times (1 - \mu_{2s}) \times I_{ws}$$

$$= 2,72 \times 0,0002 \times 0,84 \times 1,6$$

$$S_{ps} = 0,0007 \text{ m}$$

$$S = 0,011 \text{ m} + 0,003137 \text{ m} + 0,0007 \text{ m}$$

$$= 0,015 \text{ m}$$

$$= 1,5 \text{ cm}$$

$$= 15 \text{ mm}$$

### 3.5 Penurunan Pondasi Borepile Dengan Metode Vesic

Perhitungan penurunan dengan metode Vesic adalah sebagai berikut:

$$10827,40 \text{ ton}$$

$$Q = \frac{10827,40}{38} = 284,93 \text{ ton}$$

$$S = \frac{D}{100} + \frac{Q \times L}{A_b \times E_b}$$

$$S = \frac{D}{100} + \frac{Q \times L}{A_b \times E_b}$$

$$= 0,1008 + \frac{0,5024284 \text{ m}_2,93 \times 2580901 \text{ ton} \times 22,7 \text{ m ton/m}_2}{1296645,01}$$

$$= 0,008 + \frac{6268,46}{1296645,01}$$

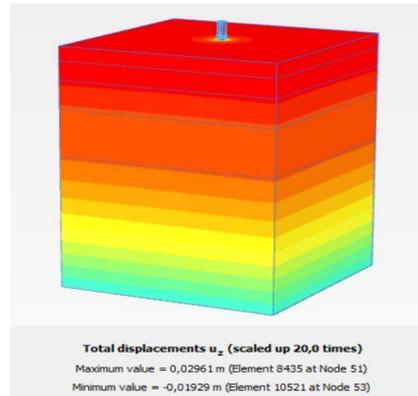
$$= 0,008 + 0,0048$$

$$S = 0,0128 \text{ m}$$

$$= 1,28 \text{ cm}$$

$$= 12,8 \text{ mm}$$

### 3.6 Penurunan Pondasi *Borepile* Dengan *Plaxis*



Gambar 3. 1 Penurunan Sebesar 0,019 m

### 3.7 Hasil Perbandingan

Dari hasil perhitungan penurunan (*settlement*) baik secara manual yaitu dengan menggunakan metode semi empiris, dan juga metode vesic, maupun dengan menggunakan program plaxis 3D, dan hasil PDA test terdapat perbedaan yang dapat dilihat pada **Tabel 3. 3** sebagai berikut: **Tabel 3. 3**

**Tabel Hasil Perbandingan**

Tipe Pondasi	Penurunan ( <i>settlement</i> )			
<i>Borepile</i>	Metode Semi Empiris	Metode Vesic	Plaxis 3D	PDA Test
	15 mm	12,8 mm	19,2 mm	5 mm

Berdasarkan **Tabel 3. 3** terjadi perbedaan yang cukup signifikan antara metode semi empiris, metode vesic, program plaxis 3D, dan PDA test, berdasarkan analisis yang telah dilakukan hasil perhitungan penurunan telah memenuhi syarat penurunan pondasi menurut SNI 8460: 2017 tentang “Persyaratan Perancangan Geoteknik” yakni sebesar 25 mm atau 2,5 cm.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan penulis berdasarkan data proyek pembangunan jalur ganda kereta api km.1+600 – km.4+200 antara Bogor paledang – batu tulis lintas Bogor – Sukabumi, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan daya dukung *ultimate* dengan metode *Mayerhoff* berdasarkan data sondir pada titik S-2 di kedalaman 10 m didapat  $Q_{ult}$  sebesar 152,403 ton dan  $Q_{ijin}$  sebesar 32,15527 ton

Hasil analisis perhitungan daya dukung *ultimate* dengan metode *rees & wright* pada *borepile* berdiameter 0,8 m dan panjang 22 m berdasarkan data SPT titik BH-04 didapat  $Q_u$  sebesar 1163,89 ton dan daya dukung ijin ( $Q_{all}$ ) sebesar 387,964 ton.

Dari perhitungan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa daya dukung tiang telah memenuhi SNI 8460: 2017 tentang “Persyaratan Perancangan Geoteknik” yaitu  $Q_{ult}$  atau  $Q_u > Q_{ijin}$ .

2. Hasil analisis perhitungan penurunan pondasi *borepile* tunggal pada KM 4+085 tepatnya pada titik A18 memiliki perbedaan yang cukup signifikan khususnya antara perhitungan manual, program *plaxis 3D*, dan PDA test dimana pada metode manual didapat nilai; metode semi empiris = 15 mm; metode vesic = 12,8 mm, program *plaxis 3D* = 19,2 mm dan PDA test = 5 mm. Dalam analisis penurunan yang telah dilakukan hasil penurunan telah memenuhi syarat penurunan pondasi menurut SNI 8460: 2017 tentang “Persyaratan Perancangan Geoteknik” yakni sebesar 25 mm atau 2,5 cm.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standarisasi Nasional. (2017). Sni 8460-2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik, 8460, 2017*.
- [2] Bowles, J. E. (1997). *Analisa dan Desain Pondasi Jilid 1. Erlangga, Jakarta, 1*.
- [3] Das, B. M. (1995a). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. In I. B. M. Noor Endah (Ed.), *Penerbit Erlangga (Jilid 1, Vol. 1)*. Penerbit Erlangga.
- [4] Das, B. M. (1995b). *MEKANIKA TANAH (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)* (I. B. M. Noor Endah (ed.); 2nd ed., Vol. 2). Penerbit Erlangga.
- [5] Hardiyatmo, H. C. (2002). *Teknik Pondasi 1 Edisi Kedua*. In *Gramedia Pustaka Utama*.
- [6] Hardiyatmo, H. C. (2014). *TEKNIK FONDASI II*. In *Gramedia Pustaka Utama (Vol. 4)*. Gramedia Pustaka Utama.
- [7] Kazuto Nakazawa. (2000). *MEKANIKA TANAH & PONDASI* (Dr. Ir. Suyono Sosrodarsono (ed.)). PT Pradnya Paramita Jalan Bunga S-84 Jakarta 13 140.
- [8] PBI-1971. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia-1971*.
- [9] Standar Nasional Indonesia, B. S. N. (2008a). *SNI 2827:2008 Cara uji penetrasi dengan alat sondir*.
- [10] Standar Nasional Indonesia, B. S. N. (2008b). *SNI 4153:2008 Cara uji penetrasi lapangan dengan SPT*.