

Perbandingan Kapasitas Daya Dukung *Ultimate Bored Pile* pada Proyek Jalur Ganda Mojokerto – Sepanjang

Kusuma Bayu Eka Putra¹, Ayu Prativi¹, Septiana Widi Astuti*¹ dan Muhammad Kesuma Cesarasyid¹

¹Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun

Jalan Tirta Raya Kelurahan Nambangan Kidul Kecamatan Manguharjo, Kota Madiun, Jawa Timur, 63132, Indonesia

E-mail: *septiana@ppi.ac.id

Diterima: 26 Januari 2023, disetujui: 27 November 2023, diterbitkan online: 29 Desember 2023

Abstrak

Pada pembangunan jembatan BH 122 proyek jalur ganda Mojokerto – Sepanjang, terdapat komponen stuktur jembatan yang penting yaitu pondasi jembatan. Karena pondasi tiang bor berperan penting dalam menghasilkan daya dukung terhadap stuktur atas pada jembatan, maka diperlukan perencanaan kapasitas daya dukung tiang (Q_u). Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan metode yang paling akurat dan paling mendekati nilai uji PDA, antara metode Luciano-Decourt dan metode O'Neil & Reese. Penelitian ini menggunakan metode persamaan O'Neil & Reese dan metode Luciano-Decourt serta membandingkan daya dukung tiang pancang akhir (Q_u) yang dihitung dari kedua metode persamaan tersebut dengan hasil uji PDA di lapangan. Hasil analisis (Q_u) pada metode Luciano Decourt abutmen I yaitu 346,92 ton dan abutmen II yaitu 287,11 ton, sedangkan hasil perhitungan (Q_u) pada metode O'Neil & Reese di abutmen I yaitu 309,62 ton dan di abutmen II yaitu 506,23 ton. Adapun hasil pengujian PDA test didapat nilai (Q_u) pada abutmen I yaitu 329 ton dan di abutmen II yaitu 341 ton. Berdasarkan hasil analisis perbandingan menunjukkan metode Luciano Decourt memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi terhadap hasil uji PDA Test di lapangan. Luciano Decourt mampu memprediksi daya dukung dengan tingkat kesalahan dari 5,45% hingga 15,80% sedangkan metode O'Neil & Reese memiliki tingkat kesalahan mulai dari 5,89% hingga 48,45%.

Kata kunci: Abutmen, Daya Dukung Tiang, Metode Luciano Decourt, Metode O'Neil & Reese, PDA Test.

Abstract

Comparison of Bored Pile Ultimate Load Capacity in the Mojokerto-Sepanjang Double Track Project: In the construction of the BH 122 bridge on the Mojokerto – Sepanjang double track project, the most important structural component is the bridge foundation. Because the drill pile foundation plays an important role in producing the bearing capacity of the upper structure on the bridge, it is necessary to plan the carrying capacity of the pile. This study used the O'Neil & Reese equation method and Luciano Decourt's method. The next step is to compare the results of the calculation of the ultimate pile-bearing on the two-equation methods against the results of the PDA Test. This research aimed to determine the method that most accurately approaches the PDA Test scores between the Luciano Decourt Method and the O'Neil & Reese Method. The analysis results on the Luciano Decourt 1st abutment method is 346,92 tons and the 2nd abutment is 287,11 tons. The results of the O'Neil & Reese method for the 1st abutment is 309,62 tons and the 2nd abutment is 506,23 tons. Based on the results of the comparative analysis, Luciano Decourt method has a higher accuracy rate on the PDA Test results in the field where Luciano Decourt is able to predict the bearing capacity with an error rate from 5.45% to 15.80% while the O'Neil & Reese method has an error rate starting from 5.89% to 48.45%.

Keywords: Abutment, Pile Bearing Capacity, Luciano Decourt Method, O'Neil & Reese Method, PDA Test

1. Pendahuluan

Pada pembangunan jembatan BH 122 proyek jalur ganda Mojokerto – Sepanjang, terdapat salah satu komponen stuktur yang penting dalam pembangunan jembatan yaitu pondasi jembatan. Pondasi merupakan salah satu bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang dan beratnya sendiri kepada dan ke dalam tanah serta batuan yang terletak di bawahnya [1]. Salah satu jenis pondasi yang digunakan pada jembatan adalah pondasi tiang bor (bored pile). Pondasi bored pile merupakan pondasi tiang di mana pada awal pengerjaan pemasangan dilakukan dengan mengebor tanah dan kemudian selanjutnya diisi dengan tulangan dan dicor dengan beton [2]. Daya dukung bored pile (Q_u) didapat dari kuat dukung ujung, yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan kuat dukung geser atau selimut yang diperoleh dari kuat dukung gesek atau gaya adhesi antara tiang bor dan tanah disekelilingnya [3]. Untuk menjamin keamanan dan stabilitas pada pondasi jembatan, maka perlu dilakukan analisa daya dukung tiang. Oleh karena itu, perencanaan pondasi tiang bored pile harus diperhitungkan dengan matang untuk memenuhi stabilitas keamanan pada stuktur atas [4]. Nilai Q_u atau kapasitas daya dukung ultimate tiang dapat diperoleh dari Q_p atau daya dukung ujung tiang dan Q_s atau daya dukung selimut tiang akibat gesekan tiang terhadap tanah disekelilingnya [5].

Dalam perhitungan kapasitas daya dukung tiang bored pile, terdapat beberapa metode yang biasanya digunakan antara lain metode statis dan metode dinamis [6]. Metode Statis merupakan metode yang didasarkan pada data dari hasil penyelidikan tanah di lapangan berupa penyelidikan geoteknik, sedangkan metode dinamis dihitung berdasarkan data lapangan antara lain data uji sondir mekanik, Standart Penetration Test (SPT), dan Pile Driving Analyzer Test (PDA) [7]. Beberapa metode persamaan memiliki tingkat akurasi perencanaan daya dukung yang berbeda [4]. Perbedaan tersebut dapat mempengaruhi perencanaan stuktur dan jumlah tiang bored pile yang dibutuhkan. Prativi (2022) melakukan penelitian yang membandingkan prediksi daya dukung fondasi menggunakan metode analisis Luciano Decourt, Reese dan O'Neil, serta Hukum Standar Bangunan Jepang dengan hasil dari Uji PDA. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa metode analisis Luciano Decourt mampu memprediksi daya dukung dengan tingkat kesalahan terkecil terkecil, yaitu 1,97% hingga 38,99% dengan faktor keamanan (SF) 2 hingga 3 pada tanah yang pada kondisi tanah yang relatif homogen dan heterogen [8]. Solin (2022) melakukan studi tentang perhitungan daya dukung pondasi tiang berdasarkan data SPT dan CPT dimana tiga persamaan digunakan untuk menghitung daya dukung untuk setiap data uji. Hasil analisis menunjukkan bahwa rumus Luciano-Decourt lebih efektif dibandingkan rumus Nakazawa atau Reese & Wright untuk menghitung daya dukung berdasarkan data uji SPT [9]. Pada penelitian ini dilakukan analisis perbandingan metode persamaan O'Neil & Reese dan Luciano Decourt dalam menghitung nilai daya dukung tanah berdasarkan data nilai SPT yang dilakukan pada abutmen I dan abutmen II Jembatan BH 122. Penelitian dilakukan pada kondisi tanah kohesif maupun non kohesif untuk safety factor 2,5. Hasil analisis daya dukung pondasi dari kedua metode tersebut dibandingkan dengan data pengujian PDA di lapangan [10][11]. Dengan demikian, diperoleh metode analisis yang paling mendekati daya dukung pondasi di lapangan untuk menghindari overdesign yang tidak diperlukan.

2. Metodologi

2.1. Lokasi Studi

Lokasi studi dilakukan pada jembatan kereta api BH 122 Jalur Ganda Mojokerto – Sepanjang, KM 35+00 s.d KM 37+800 Keboharan, Krian, Sidoarjo. Pembangunan pondasi jembatan BH 122 proyek jalur ganda Mojokerto – Sepanjang menggunakan tipe pondasi dalam berjenis tiang bored pile. Jumlah total pondasi tiang bored pile pada BH 122 yaitu sebanyak 18 titik tiang, dengan 9 titik tiang bored pile pada setiap abutmen nya.

2.2. Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada studi ini antara lain data shop drawing proyek jalur ganda Mojokerto – Sepanjang, data profil tiang bored pile pada BH 122 proyek jalur ganda Mojokerto – Sepanjang, data boring log N-SPT pada abutmen I dan abutmen II di BH 122 proyek jalur ganda Mojokerto – Sepanjang, dan data hasil uji PDA test pada tiang bored pile di abutmen I dan abutmen II.

2.3. Analisis Data

Proses analisis data yang dilakukan antara lain mengidentifikasi jenis tanah pada tiap kedalaman berdasarkan boring yang telah didapat, dengan cara menghitung daya dukung ujung tiang bor (Q_p) dan daya dukung selimut tiang bor (Q_s) untuk abutmen I dan abutmen II. Analisis dilakukan berdasarkan nilai N-SPT pada lokasi, kemudian nilai tersebut dihitung menggunakan rumus persamaan pada masing – masing metode persamaan sesuai dengan jenis tanah pada tiap kedalaman [12], selanjutnya menghitung nilai kapasitas daya dukung ultimate tiang bor (Q_u). Hasil perhitungan daya dukung ujung tiang bor (Q_p) dan daya dukung selimut tiang bor (Q_s) dijumlahkan untuk menentukan nilai kapasitas daya dukung ultimate tiang bor (Q_u), dan hasil analisis dengan hasil uji PDA Test. Upaya membandingkan hasil analisis nilai Q_u dengan hasil PDA Test di lapangan untuk mengidentifikasi metode manakah yang memiliki tingkat akurasi lebih tinggi atau mendekati daya dukung di lokasi secara asli dengan menghitung nilai persentase kesalahan (percentage error) antara hasil Q_u dan hasil PDA test. Metode dengan nilai persentase kesalahan yang lebih kecil dianggap memiliki nilai akurasi yang lebih tinggi [13][8].

2.4. Perhitungan Menggunakan Metode Reese & O'Neil (1989)

2.4.1. Nilai kapasitas daya dukung ultimate tiang (Q_u):

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (1)$$

2.4.2. Nilai daya dukung ujung tiang (Q_p)

a) tanah kohesif:

$$Q_p = f_b \cdot A_b \quad (2)$$

$$f_b = C_u \cdot N_c' \leq 4000 \text{ kpa} \quad (3)$$

$$N_c' = 6 \left(1 + 0,2 \frac{L}{B} \right) \geq 9 \quad (4)$$

b) tanah non-kohesif

$$Q_p = f_b \cdot A_b$$

$$f_b = 0,60 \cdot \sigma_r \cdot N_{60} \leq 4500 \text{ kPa} \quad (5)$$

2.4.3. Daya dukung selimut tiang (Q_s)

a) tanah kohesif:

$$Q_s = A_s \times F_s \quad (6)$$

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

Dari uji beban pada bored pile, nilai α sebagai berikut:

$\alpha = 0,55$, jika $C_u/Pr < 1,50$ atau $C_u < 150 \text{ kpa}$

$\alpha = 0,55 - 0,1 C_u (C_u/Pr < 1,50)$, jika $1,50 < C_u/Pr < 2,5$

b) tanah non-kohesif:

$$Q_s = A_s \times F_s$$

$$F_s = \beta \times p_o \quad (8)$$

$$\beta = K \times t g \delta \quad (9)$$

$$P_o = y \times H \quad (10)$$

2.5. Perhitungan dengan Metode Luciano Decourt (1982)

2.5.1. Nilai kapasitas daya dukung ultimate tiang bor (Q_u):

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

2.5.2. Daya dukung ujung tiang bor (Q_p):

$$Q_p = (N_p \times K) \times A_p \quad (11)$$

2.5.3. Daya dukung selimut tiang bor (Q_s):

$$Q_s = \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \times A_s \quad (12)$$

2.5.4. Faktor Keamanan (Safety Factor)

Kapasitas ijin tiang diperoleh dari nilai Q_u atau kapasitas daya dukung ultimate tiang bor dibagi dengan faktor keamanan tertentu:

Dasar tiang yang dibesarkan $d < 2 \text{ m}$:

$$Qa = \frac{Qu}{2} \quad (13)$$

Sedangkan dasar tiang tanpa pembesaran di bagian bawah:

$$Qa = \frac{Qu}{2,5} \quad (14)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kondisi Lapisan Tanah di BH 122

Pondasi didukung oleh daya dukung tanah, dimana pondasi diartikan sebagai bangunan bawah tanah yang meneruskan beban yang berasal dari berat bangunan itu sendiri dan beban yang bekerja pada bangunan ke tanah disekitarnya [14]. Apabila tanah tidak sanggup menahan beban pondasi, maka dapat terjadi penurunan yang berlebihan atau keruntuhan tanah. Kejadian tersebut dapat mengakibatkan kerusakan bangunan yang berada di atas pondasi [15]. Dalam merencanakan suatu pondasi perlu diketahui profil tanah riil disekitar tempat tersebut, juga hasil uji laboratorium dari sampel tanah yang diambil dari berbagai keadaan profile tanah [16]. Kondisi lapisan tanah diketahui dari hasil boring adalah salah satu metode yang efektif untuk memperoleh contoh tanah tak terganggu [17]. Dari hasil uji dapat disimpulkan bahwa mayoritas kondisi lapisan tanah di BH 122 didominasi tanah lempung dan lanau yang dikategorikan sebagai tanah kohesif dan plastis [18]. Namun begitu terdapat jenis tanah lain pada kedalaman tertentu yakni jenis tanah material pengisi seperti krikil dan lanau serta jenis tanah pasir dan lanau letak muka air tanah berada 1,5 m di bawah permukaan tanah.

3.2. Perhitungan Daya Dukung dengan Metode O'Neil & Reese

Perhitungan daya dukung tiang *bored pile* pada BH 122 di KM 35 + 810 proyek jalur ganda Mojokerto – Sepanjang dihitung berdasarkan hasil N-SPT menggunakan metode persamaan O'Neil & Reese. Perhitungan tahanan ujung maupun tahanan selimut pada BH 122 di KM 35 + 810 dilakukan pada abutmen I dan abutmen II:

3.2.1. Hasil perhitungan pada abutmen I

Perhitungan kapasitas daya dukung ultimate tiang bored pada abutmen I dengan panjang tiang terbenam 38,1 m. Lapisan tanah pada kedalaman 38,1 m pada abutmen I adalah jenis tanah pasir atau non-kohesif. Sehingga rumus persamaan yang digunakan adalah khusus pada tanah non – kohesif.

$$\begin{aligned} fb &= 0,60 \sigma_{r N60} \leq 4500 \text{ kPa} \\ &= 0,60 \times 100 \text{ kPa} \times 18 \leq 4500 \text{ kPa} \\ &= 1080 \text{ kPa} \leq 4500 \text{ kPa} \\ &= 1080 \text{ kN/m}^2 \\ &= 108 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ab &= . r^2 \\ &= 3,14 \times (0,5)^2 \\ &= 0,785 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qp &= fb \times Ab \\ &= 108 \text{ ton/m}^2 \times 0,785 \text{ m}^2 \\ &= 84,82 \text{ ton} \end{aligned}$$

Sedangkan hasil perhitungan nilai Q_s pada abutmen I dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai Qs Pada Abutmen I dengan Metode O'Neil & Reese

ABUTMEN I									
Kedalaman (m)	N-SPT	N'-SPT	β	Po (kN/m ²)	Cu/Pr	α	f _s (ton/m ²)	As (m ²)	Qs (ton)
1	0	0	-	-	0,00	0,55	0	3,14	0,00
2	0	7	-	-	0,01	0,55	0,055	3,14	0,17
3	0	7	-	-	0,01	0,55	0,055	3,14	0,35
4	4	9	0,61	42,00			2,5	3,14	8,34
5	9	12	0,76	63,00			4,8	3,14	23,41
6	8	11	-	-	0,40	0,55	2,2	3,14	30,31
7	5	10	-	-	0,25	0,55	1,375	3,14	34,63
8	6	10	-	-	0,30	0,55	1,65	3,14	39,81
9	8	11	-	-	0,40	0,55	2,2	3,14	46,72
10	8	11	-	-	0,40	0,55	2,2	3,14	53,63
11	7	11	-	-	0,35	0,55	1,925	3,14	59,67
12	10	12	-	-	0,50	0,55	2,75	3,14	68,31
13	12	13	-	-	0,60	0,55	3,3	3,14	78,67
14	12	13	-	-	0,60	0,55	3,3	3,14	89,03
15	12	13	-	-	0,60	0,55	3,3	3,14	99,39
16	8	11	0,38	232,50			8,9	3,14	127,23
17	1	8	-	-	0,06	0,55	0,33	3,14	128,27
18	2	8	-	-	0,12	0,55	0,66	3,14	130,34
19	2	8	-	-	0,12	0,55	0,66	3,14	132,41
20	2	8	-	-	0,12	0,55	0,66	3,14	134,49
21	3	9	-	-	0,16	0,55	0,88	3,14	137,25
22	4	9	-	-	0,21	0,55	1,155	3,14	140,88
23	4	9	-	-	0,21	0,55	1,155	3,14	144,50
24	4	9	-	-	0,21	0,55	1,155	3,14	148,13
25	4	9	-	-	0,21	0,55	1,155	3,14	151,76
26	4	9	-	-	0,21	0,55	1,155	3,14	155,38
27	5	10	-	-	0,25	0,55	1,375	3,14	159,70
28	5	10	-	-	0,25	0,55	1,375	3,14	164,02
29	4	9	-	-	0,21	0,55	1,155	3,14	167,64
30	4	9	-	-	0,21	0,55	1,155	3,14	171,27
31	5	10	-	-	0,25	0,55	1,375	3,14	175,59
32	6	10	-	-	0,30	0,55	1,65	3,14	180,77
33	8	11	-	-	0,40	0,55	2,2	3,14	187,68
34	10	12	-	-	0,50	0,55	2,75	3,14	196,31
35	12	13	-	-	0,60	0,55	3,3	3,14	206,68
36	10	12	-	-	0,50	0,55	2,75	3,14	215,31
37	9	12	-	-	0,45	0,55	2,475	3,14	223,08
38,1	22	18	0,01	563,25			0,55	3,14	224,80

Sumber: Hasil Analisis, 2022

Dari tabel 1. terlihat nilai total daya dukung selimut tiang (Q_s) yaitu 224,80 ton, sehingga kapasitas daya dukung ultimate tiang (Q_u) diperoleh:

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 84,82 + 224,80 \text{ ton} \\ &= 309,62 \text{ ton} \end{aligned}$$

3.2.2. Perhitungan pada abutmen II

Daya dukung *ultimate* tiang bor pada abutmen II menggunakan metode O'Neil & Reese dimana lapisan tanah pada kedalaman 39 m pada abutmen II adalah jenis tanah kohesif, dengan hasil perhitungan sebagai berikut:

Mencari faktor kapasitas nilai dukung tiang (N_c')

$$\begin{aligned} N_c' &= 6 \times (1 + 0,2 (L/B)) \geq 9 \\ &= 6 \times (1 + 0,2 (39/1)) \geq 9 \\ &= 52 \geq 9 \end{aligned}$$

Nilai kohesi tak terdrainase (C_u) pada kedalaman 39 m yaitu:

$$\begin{aligned} C_u &= 60 \text{ kPa} \\ &= 60 \text{ kN/m}^2 \\ &= 6 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_b &= N_c' \times C_u \\ &= 52 \times 6 \text{ ton/m}^2 \\ &= 312 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_b &= . r^2 \\ &= 3,14 \times (0,5)^2 \\ &= 0,785 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_p &= f_b \times A_b \\ &= 312 \text{ ton/m}^2 \times 0,785 \text{ m}^2 \\ &= 245,04 \text{ ton} \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 2 diperoleh nilai total daya dukung selimut tiang (Q_s) yaitu 261,18 ton sehingga kapasitas daya dukung ultimate tiang (Q_u)

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 245,04 + 261,18 \text{ ton} \\ &= 506,23 \text{ ton} \end{aligned}$$

3.3. Perhitungan Daya Dukung dengan Metode Luciano Decourt

Berikut perhitungan daya dukung dengan metode Luciano Decourt pada abutmen I dan abutmen II:

Tabel 2. Nilai Qs Pada Abutmen II dengan Metode O'Neil & Reese

ABUTMEN II									
Kedalaman (m)	N-SPT	N'-SPT	β	po (kN/m ²)	Cu/Pr	α	fs (ton/m ²)	As (m ²)	Qs (ton)
1	2	2	-	-	0,00	0,55	0	3,14	0,00
2	2	8	-	-	0,12	0,55	0,66	3,14	2,07
3	3	9	-	-	0,15	0,55	0,825	3,14	4,67
4	4	9	-	-	0,18	0,55	0,99	3,14	7,78
5	6	10	-	-	0,30	0,55	1,65	3,14	12,96
6	6	10	-	-	0,30	0,55	1,65	3,14	18,14
7	6	10	-	-	0,30	0,55	1,65	3,14	23,33
8	6	10	-	-	0,30	0,55	1,65	3,14	28,51
9	5	10	-	-	0,25	0,55	1,375	3,14	32,83
10	5	10	-	-	0,25	0,55	1,375	3,14	37,15
11	5	10	-	-	0,25	0,55	1,375	3,14	41,47
12	7	11	-	-	0,35	0,55	1,925	3,14	47,52
13	9	12	-	-	0,45	0,55	2,475	3,14	55,29
14	10	12	-	-	0,50	0,55	2,75	3,14	63,93
15	10	12	-	-	0,50	0,55	2,75	3,14	72,57
16	10	12	0,42	248,00			10,32	3,14	104,98
17	10	12	-	-	0,50	0,55	2,75	3,14	113,62
18	8	11	-	-	0,40	0,55	2,2	3,14	120,53
19	5	10	-	-	0,25	0,55	1,375	3,14	124,85
20	6	10	-	-	0,30	0,55	1,65	3,14	130,04
21	6	10	-	-	0,30	0,55	1,65	3,14	135,22
22	6	10	-	-	0,30	0,55	1,65	3,14	140,40
23	7	11	-	-	0,35	0,55	1,925	3,14	146,45
24	6	10	-	-	0,30	0,55	1,65	3,14	151,63
25	4	9	-	-	0,18	0,55	0,99	3,14	154,74
26	4	9	-	-	0,18	0,55	0,99	3,14	157,85
27	5	10	-	-	0,25	0,55	1,375	3,14	162,17
28	5	10	-	-	0,25	0,55	1,375	3,14	166,49
29	5	10	-	-	0,25	0,55	1,375	3,14	170,81
30	5	10	-	-	0,25	0,55	1,375	3,14	175,13
31	4	9	-	-	0,18	0,55	0,99	3,14	178,24
32	6	10	-	-	0,30	0,55	1,65	3,14	183,43
33	7	11	-	-	0,35	0,55	1,925	3,14	189,48
34	12	13	-	-	0,60	0,55	3,3	3,14	199,84
35	15	15	-	-	0,75	0,55	4,125	3,14	212,80
36	15	15	-	-	0,75	0,55	4,125	3,14	225,76
37	15	15	-	-	0,75	0,55	4,125	3,14	238,72
38	14	14	-	-	0,70	0,55	3,85	3,14	250,81
39	12	13	-	-	0,60	0,55	3,30	3,14	261,18

Sumber: Hasil Analisis, 2022

Tabel 3. Nilai Qs Pada Abutmen I Dengan Metode Luciano Decourt

Kedalaman (m)	N'-SPT	Ns	As (m ²)	Qs (ton)
1	0	3	3,14	6,3
2	0	7	3,14	8,4
3	0	7	3,14	9,1
4	4	5	3,14	8,9
5	9	11	3,14	10,1
6	8	11	3,14	10,8
7	5	10	3,14	11,2
8	6	10	3,14	11,5
9	8	11	3,14	11,9
10	8	11	3,14	12,1
11	7	11	3,14	12,4
12	10	12	3,14	12,7
13	12	13	3,14	13,0
14	12	13	3,14	13,2
15	12	13	3,14	13,5
16	8	10	3,14	13,5
17	1	8	3,14	13,4
18	2	8	3,14	13,3
19	2	8	3,14	13,2
20	2	8	3,14	13,1
21	3	9	3,14	13,1
22	4	9	3,14	13,0
23	4	9	3,14	13,0
24	4	9	3,14	13,0
25	4	9	3,14	13,0
26	4	9	3,14	13,0
27	5	10	3,14	13,0
28	5	10	3,14	13,0
29	4	9	3,14	13,0
30	4	9	3,14	13,0
31	5	10	3,14	13,0
32	6	10	3,14	13,0
33	8	11	3,14	13,1
34	10	12	3,14	13,2
35	12	13	3,14	13,3
36	10	12	3,14	13,3
37	9	12	3,14	13,4
38,1	18,5	18	3,14	13,6
Total				467,3

Sumber: Hasil Analisis, 2022

3.3.1. Perhitungan pada abutmen I

Perhitungan daya dukung ultimate tiang bor pada abutmen I dengan panjang tiang 38,1 m yaitu:

a) Daya dukung ujung tiang (Q_p)

$$Q_p = N_p \times K \times A_p$$

$$N_p = 13 \text{ (di kedalaman 38,1 m)}$$

$$K = 40 \text{ ton/m}^2$$

$$A_p = \pi \times r^2$$

$$= 3,14 \times 0,52^2$$

$$= 0,785 \text{ m}^2$$

$$Q_p = N_p \times K \times A_p$$

$$= 13 \times 40 \text{ ton/m}^2 \times 0,785 \text{ m}^2$$

$$= 400,036 \text{ ton}$$

b) Daya dukung selimut tiang (Q_s)

Hasil perhitungan daya dukung selimut (Q_s) dengan menggunakan metode Luciano Decourt dapat dilihat pada tabel 3.

Berdasarkan tabel 3 jumlah total Q_s dari kedalaman 1 m sampai 38,1 m yaitu 467,3 ton, sehingga kapasitas daya dukung ultimate tiang (Q_u)

$$Q_u = (Q_p + Q_s) / \text{Faktor Keamanan}$$

$$= (400,036 + 467,3) / 2,5$$

$$= 346,92 \text{ ton}$$

3.3.2. Perhitungan pada abutmen II

Perhitungan pada abutmen II dengan panjang tiang terbenam 39 m sebagai berikut:

a) Daya dukung ujung tiang (Q_p)

$$Q_p = N_p \times K \times A_p$$

$$N_p = \text{Nilai rata-rata N-SPT sekitar 4B di atas hingga 4B di bawah kutub}$$

$$N_p = 14 \text{ (di kedalaman 39 m)}$$

$$K = 20 \text{ ton/m}^2 \text{ (di kedalaman 39 m)}$$

$$A_p = \pi \times r^2$$

$$= 3,14 \times 0,52^2$$

$$= 0,785 \text{ m}^2$$

$$Q_p = N_p \times K \times A_p$$

$$= 14 \times 20 \text{ ton/m}^2 \times 0,785 \text{ m}^2$$

$$= 215,5 \text{ ton}$$

b) Daya dukung selimut tiang (Q_s)

Hasil perhitungan daya dukung selimut (Q_s) dengan menggunakan metode Luciano Decourt dapat dilihat pada tabel 4.

Berdasarkan tabel di atas nilai daya dukung selimut total (Q_s) adalah 502,3 ton, sehingga kapasitas daya dukung ultimate tiang (Q_u)

$$Q_u = (Q_p + Q_s) / \text{Faktor Keamanan}$$

$$= (215,5 + 502,3) / 2,5$$

$$= 717,8 / 2,5$$

$$= 287,11 \text{ ton}$$

Tabel 4. Nilai Qs Pada Abutmen II dengan Metode Luciano Decourt

Kedalaman (m)	N'-SPT	Ns	As (m ²)	Qs (ton)
1	2	3	3,1	6,3
2	2	8	3,1	8,9
3	3	9	3,1	10,1
4	4	9	3,1	10,7
5	6	10	3,1	11,3
6	6	10	3,1	11,7
7	6	10	3,1	12,0
8	6	10	3,1	12,2
9	5	10	3,1	12,3
10	5	10	3,1	12,5
11	5	10	3,1	12,6
12	7	11	3,1	12,7
13	9	12	3,1	13,0
14	10	12	3,1	13,2
15	10	12	3,1	13,3
16	10	12	3,1	13,5
17	10	12	3,1	13,6
18	8	11	3,1	13,7
19	5	10	3,1	13,7
20	6	10	3,1	13,7
21	6	10	3,1	13,7
22	6	10	3,1	13,7
23	7	11	3,1	13,7
24	6	10	3,1	13,7
25	4	9	3,1	13,7
26	4	9	3,1	13,6
27	5	10	3,1	13,6
28	5	10	3,1	13,6
29	5	10	3,1	13,6
30	5	10	3,1	13,6
31	4	9	3,1	13,6
32	6	10	3,1	13,6
33	7	11	3,1	13,6
34	12	13	3,1	13,7
35	15	15	3,1	13,9
36	15	15	3,1	14,0
37	15	15	3,1	14,1
38	14	14	3,1	14,2
39	12	13	3,1	14,3
Total				502,3

Sumber: Hasil Analisis, 2022

3.4. Daya Dukung Tiang *Bored Pile* Berdasarkan Hasil PDA Test

Pengujian pembebanan dinamis dengan PDA test dilakukan pada pembangunan jembatan BH 122 Proyek Pembangunan Jalur Ganda Mojokerto – Sepanjang di paket 5 dilaksanakan berdasarkan ASTM D- 4945 menghasilkan data yang selanjutnya dianalisis menggunakan aplikasi CAPWAP. Hal ini digunakan untuk memperkirakan kapasitas dukung tiang dan menstimulus pengujian pembebanan statis sehingga nantinya menghasilkan nilai daya dukung ujung tiang dan daya dukung selimut tiang yang diakumulasi menjadi kapasitas daya dukung ultimate tiang *bored pile*. Hasil dari daya dukung tiang *bored pile* pada abutmen I dan abutmen II dapat dilihat pada tabel 6.

Dari tabel 6. terlihat bahwa terdapat perbedaan nilai kapasitas daya dukung tiang (Q_s) antara abutmen I dan abutmen II. Hasil yang berbeda ini kemungkinan disebabkan adanya perbedaan letak titik pengujian pada kedua abutmen. Titik pengujian pada abutmen I yaitu pada nomer titik tiang ke-1, sedangkan pengujian pada abutmen II yakni pada nomer titik tiang ke-18. Selain itu letak antara kedua titik uji tersebut dipisahkan oleh sungai dengan jarak kurang lebih dua puluh tujuh meter. Hal tersebut memungkinkan kondisi tanah pada kedua titik berbeda antara satu sama lain. Selain perbedaan titik uji, profil tiang atau keadaan tiang yang diuji juga turut serta mempengaruhi hasil uji PDA test di lapangan. Berat *hammer* yang digunakan dalam pengujian PDA test sebesar 4 ton. Berat *hammer* pada PDA test merupakan 1% dari total beban yang direncanakan yakni sebesar 400 ton.

3.5. Perbandingan pada abutmen I

Analisis perhitungan daya dukung tiang menggunakan metode persamaan O'Neil & Reese dan Luciano Decourt dilakukan pada kedalaman 38,1 meter mengikuti uji kedalaman uji PDA.

Hasil perhitungan nilai kapasitas daya dukung ultimate tiang (Q_u) menggunakan metode O'Neil & Reese yaitu 309,62 ton dengan nilai daya dukung ujung tiang (Q_p) yaitu 84,82 ton dan nilai daya dukung selimut tiang (Q_s) yaitu 224,80 ton. Berdasarkan tabel 5 terlihat nilai Q_u menggunakan metode Luciano Decourt lebih mendekati hasil uji PDA test di lapangan, walaupun hasil analisis perhitungan melebihi nilai dari hasil uji PDA test.

3.6. Perbandingan pada abutmen II

Pengujian PDA test di abutmen II dilakukan pada kedalaman tiang terbenam 43,6 meter, sedangkan analisis perhitungan menggunakan metode persamaan yang dilakukan pada kedalaman 39 meter didasarkan pada data boring log N-SPT yang telah didapat dimana kedalaman maksimal N-SPT terletak pada kedalaman 39 meter.

Tabel 5. Perbandingan hasil uji PDA Test dengan O'Neil & Reese dan Luciano Decourt

Hasil Uji	Kapasitas daya dukung tiang <i>bored pile</i> (ton)		
	Ujung (Q_p)	Selimut (Q_s)	Ultimate (Q_u)
PDA (Capwap)	119,20	200,80	329,00
O'Neil & Reese	84,82	224,80	309,62
Luciano Decourt	400,63	467,27	346,92

sumber : Hasil Analisis, 2022

Tabel 6. Kapasitas Daya Dukung Tiang Hasil Uji PDA Test Berdasarkan Hasil Analisis CAPWAP

No. Tiang	Jenis Tiang	Penampang (cm)	Panjang Tiang Terbenam (m)	Kapasitas Dukung CAPWAP (ton)		
				Selimut	Ujung	Ultimate
ABT1-1	Bor	100 \emptyset	38,1	209,8	119,2	329,0
ABT2-18	Bor	100 \emptyset	43,6	277,1	63,9	341,0

Sumber: Data Proyek Hasil Pengujian PDATestana Engineering, JGMS-Paket 5 [19]

Tabel 7. Perbandingan hasil uji PDA Test dengan O'Neil & Reese dan Luciano Decourt

Hasil Uji	Kapasitas daya dukung tiang <i>bored pile</i> (ton)		
	Ujung (Qp)	Selimut (Qs)	Ultimate (Qu)
PDA (Capwap)	63,90	277,10	341,00
O'Neil & Reese	245,04	261,18	506,23
Luciano Decourt	215,51	502,62	287,11

sumber: Hasil Analisis, 2022

Tabel 8. Persentase Kesalahan Kapasitas Daya Dukung Ultimate Tiang terhadap Uji PDA Test

Metode Persamaan	Persentase kesalahan kapasitas daya dukung <i>ultimate</i> tiang bor (qu) terhadap uji PDA Test	
	Abutmen I	Abutmen II
O'Neil & Reese	5,89%	48,45%
Luciano Decourt	5,45%	15,80%

sumber: Hasil Analisis, 2022

Perbedaan kedalaman kemungkinan menyebabkan nilai kapasitas daya dukung ultimate (Qu) antara hasil uji PDA test dengan hasil analisis perhitungan menggunakan metode persamaan mengalami perbedaan nilai yang besar terlebih untuk hasil perhitungan menggunakan metode O'Neil & Reese.

Tabel 8 menampilkan persentase kesalahan hasil nilai kapasitas daya dukung *ultimate* tiang *bored pile* (Qu) menggunakan metode O'Neil & Reese dengan metode Luciano Decourt terhadap hasil uji PDA test yang telah di analisis menggunakan aplikasi CAPWAP di abutmen I maupun abutmen II. Dapat dilihat persentase kesalahan hasil perhitungan baik pada abutmen I yang menggunakan faktor keamanan (*safety factor*) 2,5 pada metode persamaan Luciano Decourt memiliki nilai persentase kesalahan yang lebih kecil dibanding metode O'Neil & Reese. Namun begitu, pada abutmen II dapat dilihat persentase kesalahan perhitungan terhadap hasil uji PDA test di lapangan untuk kedua metode persamaan cukup besar. Hal ini dikarenakan perbedaan kedalaman titik yang dianalisa pada metode persamaan dengan kedalaman titik pada pengujian PDA test di lapangan dimana titik kedalaman tiang tertanam yang di analisis ada pada kedalaman 43,6 m, sedangkan pada data boring log N-SPT yang diperoleh maksimum kedalaman tanah yang diuji ada pada kedalaman 39 m.

Berdasarkan persentase kesalahan hasil perhitungan dengan metode persamaan terhadap hasil uji PDA test dapat disimpulkan bahwa metode Luciano Decourt lebih mendekati hasil uji PDA test di lapangan, dibandingkan hasil perhitungan menggunakan metode O'Neil & Reese pada abutmen I maupun abutmen II Luciano Decourt mampu memprediksi daya dukung dengan tingkat kesalahan dari 5,45% hingga 15,80% sedangkan metode O'Neil & Reese memiliki tingkat kesalahan mulai dari 5,89% hingga 48,45%. Hasil ini sejalan dengan hasil perhitungan Prativi (2022), dimana hasil perbandingan menunjukkan bahwa metode analitis Luciano Decourt dapat memprediksi daya dukung dengan tingkat kesalahan terkecil, yaitu 1,97% hingga 38,99% dengan faktor keamanan (SF) 2 hingga 3 pada kondisi tanah yang relatif homogen dan heterogeny [8]. Livia (2018) juga menemukan bahwa tingkat kesalahan untuk tanah non-kohesif yang terkecil dihasilkan dari penggunaan metode Decourt yaitu sekitar 28% [13].

4. Kesimpulan

Hasil perhitungan daya dukung *ultimate* tiang *bored pile* (Qu) dengan metode O'Neil & Reese untuk abutmen I dengan kondisi tanah non kohesif adalah 309,62 ton, sedangkan untuk abutmen II dengan kondisi tanah kohesi mencapai 506,23 ton. Sementara itu, perhitungan daya dukung ultimate pada tiang *bored pile* (Qu) dengan metode Luciano Decourt pada abutmen I menghasilkan 346,92 ton, dan pada abutmen II sebesar 287,11 ton.

Berdasarkan perbandingan nilai hasil analisis perhitungan Qu (kapasitas daya dukung ultimate tiang) terhadap hasil uji *PDA test* di lapangan diperoleh hasil metode Luciano Decourt mampu memprediksi daya dukung dengan tingkat kesalahan dari 5,45% hingga 15,80% pada kondisi tanah kohesif maupun non kohesif dengan *safety factor* 2,5. Untuk kondisi yang sama metode O'neil & Resse memiliki tingkat kesalahan mulai dari 5,89% hingga 48,45% sehingga dapat disimpulkan bahwa tingkat keakuratan metode Luciano Decourt lebih baik dibandingkan metode O'Neil & Reese.

Berdasarkan hasil perhitungan kapasitas daya dukung ultimate tiang yang lebih akurat dengan metode Luciano Decourt, penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan untuk melakukan analisis jumlah kebutuhan tiang pile beserta daya dukung kelompok tiangnya. Hal ini membantu dalam mengoptimalkan desain struktur dan menghindari *overdesign* yang tidak diperlukan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung penelitian ini terutama kepada Balai Teknik Perkeretaapian Surabaya atas bantuannya dalam pengumpulan data - data yang dibutuhkan. Tidak lupa ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun yang telah memberikan saran dan masukan yang sangat membangun bagi penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] J. E. Bowles, *Analisa dan Desain Pondasi*, Ke-4 Jilid 1. Jakarta: Erlangga, 1991.
- [2] Desrina Sari, Bangun Pasaribu, and Jupriah Sarifah, "Analisa Daya Dukung Bored Pile Pada Proyek Pembangunan Jembatan Ka BH. 38 Di Baja Linggei Kabupaten Serdang Bedagai," *Buletin Utama Teknik*, vol. 16, no. 2, pp. 103–112, Jan. 2021.
- [3] D. Setiyo, S. Suhendra, and M. Nuklirullah, "Analisa Daya Dukung Tanah untuk Pondasi Tiang Pancang pada Rencana Pembangunan Komplek Pendidikan Islam Al Azhar 57 Jambi," *Jurnal Civronlit Unbari*, vol. 4, no. 2, p. 80, Dec. 2019, doi: 10.33087/civronlit.v4i2.54.
- [4] Muhammad Fahri Dirgananta, "Perencanaan Ulang Pondasi Tiang Pancang Dengan Variasi Diameter Menggunakan Metode Meyerhoff, Aoki & De Alencar, Dan Luciano Decourt," Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2018.
- [5] Yulia Tandiri, "Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Kantor Pelindo Belawan," Universitas Andi Djemma, 2022.
- [6] Melisa and Junaidi, "Kapasitas Dukung Aksial Pondasi Bored Pile Menurut O'neil & Reese Dan Coyle & Castello (Studi Kasus : Fly Over Simpang SKA)," *Jurnal Inovtek Seri Teknik Sipil dan Aplikasi (Tekla)*, vol. 2, no. 1, Jul. 2020.
- [7] H. Tunafiah, "Analisis Metode Statis dan Metode Dinamis Penelitian Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang," *Jurnal Teknik*, vol. 2, no. 2, Mar. 2017, doi: 10.31000/jt.v2i2.3950.
- [8] A. Prativi, P. Dewi, N. Sutra, W. T. Adi, and C. Wejia, "Comparison of Individual Bored Pile Bearing Capacity Using the Results of Standard Penetration Test (SPT) and Pile Driving Analysis (PDA) Test of the Railway Bridge Foundation," *Journal of Railway Transportation and Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 14–23, Nov. 2022, doi: 10.37367/jrtt.v1i2.9.
- [9] D. P. Solin, "Analisis Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang pada Tanah Berlempung Berdasarkan Data Penyelidikan Tanah," *AGREGAT*, vol. 7, no. 1, May 2022, doi: 10.30651/ag.v7i1.13319.
- [10] J. Kang, L. Sun, and C. Guedes Soares, "Fault Tree Analysis of floating offshore wind turbines," *Renew Energy*, vol. 133, pp. 1455–1467, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.08.097.
- [11] A. A. Rahman, F. Hariati, N. Chayati, and F. M. L. Taqwa, "Korelasi Nilai Daya Dukung Ultimit Tiang Bor Hasil Analisis Dengan Hasil Pengujian PDA Test (Studi Kasus: Pembangunan Jalan Tol Bogor Ring Road Seksi Iii A Ruas Simpang Yasmin - Simpang Salabenda)," *Jurnal Komposit*, vol. 4, no. 2, p. 43, Mar. 2022, doi: 10.32832/komposit.v4i2.3468.
- [12] Eko Yuliawan and Tanjung Rahayu, "Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Berdasarkan Pengujian Spt Dan Cyclic Load Test," *Jurnal Konstruksia*, vol. 9, no. 2, pp. 1–13, 2018.
- [13] L. Livia and A. Suhendra, "Studi Kapasitas Tiang Bor Berdasarkan Metode Pile Driving Analyzer (PDA) dan Load Cell," *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol. 1, no. 1, p. 82, Aug. 2018, doi: 10.24912/jmts.v1i1.2245.
- [14] U. N. Fadilah and H. Tunafiah, "Analisa Daya Dukung Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data N-Spt Menurut Rumus Reese & Wright dan Penurunan," *IKRA-ITH Teknologi Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 3, pp. 7–13, 2018.
- [15] M. A. Sagita, F. Fahriani, and Y. Apriyanti, "Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Hasil Uji Spt Dan Uji Beban Dinamis Pada Proyek Penggantian Jembatan Baturusa," in *Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, Bangka Belitung: Universitas Bangka Belitung, 2020. doi: 10.33019/snppm.v4i0.2147.
- [16] Denny Nurhadi, "Studi Pembebanan Tiang Dengan Pda Test Di Pelabuhan Pt. Semen Tonasa Biringkassi," Universitas Hasanudin, Makassar, 2013.
- [17] Hary Christady Hardiyatmo, *Analisis dan Perancangan Fondasi Bagian I*, 4th ed. Yogyakarta: Gadjah Mada Univ. Press, 2020.
- [18] Darwis Panguriseng, *Dasar-Dasar Mekanika Tanah*. Yogyakarta: Pena Indis, 2018.
- [19] Testana Engineering, "Hasil Pengujian PDA."