

DAYA DUKUNG FONDASI TIANG BOR PADA ABUTMEN JEMBATAN WAI RAHWAEN DI PULAU BURU PROVINSI MALUKU

Hamkah

Politeknik Negeri Ambon
Jln. Ir. M. Putuhena, Wailela,
Rumah Tiga, Ambon 97234
hamkah27@yahoo.co.id

Enjelita Paais

Politeknik Negeri Ambon
Jln. Ir. M. Putuhena, Wailela,
Rumah Tiga, Ambon 97234
paaisenjelita@gmail.com

Godfried Lewakabessy

Politeknik Negeri Ambon
Jln. Ir. M. Putuhena, Wailela,
Rumah Tiga, Ambon 97234
godfriedssy11@gmail.com

David Daniel Marthin Huwae

Politeknik Negeri Ambon
Jln. Ir. M. Putuhena, Wailela,
Rumah Tiga, Ambon 97234
lydiariekie@gmail.com

Sjafrudin Latar

Politeknik Negeri Ambon
Jln. Ir. M. Putuhena, Wailela,
Rumah Tiga, Ambon 97234
sjafrudin_latar@gmail.com

Sulastris Kakaly

Politeknik Negeri Ambon
Jln. Ir. M. Putuhena, Wailela,
Rumah Tiga, Ambon 97234
sulastrikakalyunidar@gmail.com

Abstract

The foundation is the most crucial element of a bridge structure, as it plays a role in supporting the load and transmitting it to the harder soil layers. The Wai Rahwaen Bridge, located on Buru Island, Maluku Province, was built using bored pile foundations, to provide effective bearing capacity for the structure above it. The analysis of the foundation bearing capacity in this study was conducted using a pre- and post-installation approach. This is very important to ensure that the foundation can support the stability of the appropriate abutment load. Before the foundation was installed, the foundation bearing capacity was estimated based on data from 2 points from the Standard Penetration Test and using 2 empirical methods, namely the Reese and Wright Method and the Reese and O'Neill Method. After the foundation was installed, the foundation bearing capacity was determined using data from 4 points from the Pile Driving Analyzer test. The Reese and Wright Method produced an ultimate bearing capacity of 272.5 tons, while the Reese and O'Neill Method produced an ultimate bearing capacity of 309.4 tons. After the foundation was installed, the ultimate bearing capacity determined based on Pile Driving Analyzer test data was 316.2 tons. This study shows that the Reese and Wright Method and the Reese and O'Neill Method produced estimates of the ultimate bearing capacity of a single pile by 13.8% and 2.2%, respectively, when compared to the ultimate bearing capacity obtained using the Pile Driving Analyzer test results.

Keywords: foundation; bridge structure; bearing capacity; bored pile foundation; bridge abutment

Abstrak

Fondasi merupakan elemen paling krusial dari struktur jembatan, karena fondasi berperan menahan beban dan meneruskan beban tersebut ke lapisan tanah yang lebih keras. Jembatan Wai Rahwaen, yang terletak di Pulau Buru, Provinsi Maluku, dibangun dengan menggunakan fondasi tiang bor, untuk memberikan daya dukung yang efektif bagi struktur di atasnya. Analisis daya dukung fondasi pada studi ini dilakukan dengan pendekatan sebelum dan setelah pemasangan fondasi. Hal ini sangat penting untuk dilakukan, untuk memastikan bahwa fondasi itu dapat menopang stabilitas beban abutmen yang sesuai. Sebelum fondasi dipasang, daya dukung fondasi diestimasi berdasarkan data 2 titik hasil uji *Standard Penetration Test* serta menggunakan 2 metode empiris, yaitu Metode Reese and Wright dan Metode Reese and O'Neill. Setelah fondasi terpasang, daya dukung fondasi ditentukan dengan menggunakan data 4 titik hasil uji *Pile Driving Analyzer*. Metode Reese and Wright menghasilkan daya dukung ultimit fondasi sebesar 272,5 ton, sedangkan Metode Reese and O'Neill menghasilkan daya dukung ultimit sebesar 309,4 ton. Setelah fondasi terpasang daya dukung ultimit yang ditentukan berdasarkan data uji *Pile Driving Analyzer* adalah sebesar 316,2 ton. Studi ini menunjukkan bahwa Metode Reese dan Wright serta Metode Reese dan O'Neill menghasilkan nilai estimasi daya dukung ultimate tiang tunggal yang lebih rendah, masing-masing 13,8% dan 2,2%, bila dibandingkan dengan daya dukung ultimate yang dihasilkan dengan menggunakan hasil uji *Pile Driving Analyzer*.

Kata-kata kunci: fondasi; struktur jembatan; daya dukung; fondasi tiang bor; abutmen jembatan

PENDAHULUAN

Pembangunan Jembatan Wai Rahwaen merupakan proyek infrastruktur penting yang ditujukan untuk meningkatkan konektivitas antarkabupaten di Provinsi Maluku. Proyek jembatan ini telah membuat kemajuan yang signifikan dalam meningkatkan akses dan mobilitas penduduk di banyak daerah, termasuk di Pulau Buru. Secara khusus, pembangunan Jembatan Wai Rahwaen, pada Ruas Jalan Mako-Modanmohe, telah memberikan kontribusi yang berarti dalam memperlancar arus lalu lintas. Dibangunnya Jembatan Wai Rahwaen yang baru, sebagai respons terhadap dampak Bendungan Way Apu, mengakibatkan jembatan lama harus dialihkan. Jembatan Wai Rahwaen yang sebelumnya terletak pada ketinggian 78,265 m di atas permukaan laut (MDPL), sedangkan tinggi air akibat bendungan mencapai ketinggian 101,000 m di atas permukaan laut (MDPL). Oleh karena itu, Jembatan Wai Rahwaen yang baru dibangun pada ketinggian 110,000 m di atas permukaan laut (MDPL).

Seiring dengan pembangunan Jembatan Wai Rahwaen yang baru, kedua abutmen jembatan, yaitu abutmen 1 yang terletak di sisi arah Mako dan abutmen 2 di sisi arah Modanmohe, juga dirancang dan dibangun ulang, karena terdampak langsung oleh perubahan trase dan peningkatan elevasi akibat Bendungan Way Apu. Jika jembatan ini tidak segera dibangun, kondisi tersebut tidak hanya mengganggu mobilitas masyarakat, tetapi juga dapat mengisolasi wilayah yang bergantung pada akses jalan tersebut.

Salah satu elemen jembatan yang paling krusial adalah fondasinya (Solaiman et al., 2022). Fondasi berperan sebagai penahan beban suatu bangunan dan kemudian meneruskannya ke lapisan tanah yang lebih kuat. Jembatan Wai Rahwaen dibangun menggunakan struktur rangka baja dan menggunakan fondasi *bored pile*. Fondasi *bored pile* melibatkan pengeboran lubang ke dalam tanah untuk menempatkan tiang beton atau tiang baja ke dalam lubang yang telah dibor. Keunggulan fondasi jenis ini adalah kemampuannya menjangkau lapisan tanah yang lebih dalam, sehingga memberikan kestabilan yang optimal bagi bangunan di atasnya (Abadi et al., 2021; Januar dan Agung, 2023). Meskipun demikian, analisis daya dukung yang tepat sangat penting dilakukan untuk memastikan bahwa fondasi yang digunakan mampu menopang beban dengan efektif dan aman (Djarwanti et al., 2015; Daulay et al., 2024).

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan terkait dengan analisis daya dukung fondasi. Julita et al. (2025) menganalisis daya dukung fondasi tiang bor pada Jembatan Way Pengubuan, dengan pendekatan empiris berdasarkan hasil penyelidikan tanah melalui uji *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT), serta verifikasi hasil tersebut melalui pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA). Artiwi et al. (2023) juga menganalisis daya dukung fondasi tiang bor pada jembatan Cibeurang dengan metode analisis berdasarkan data SPT dan PDA. Penelitian yang dilakukan oleh Ramadhan dan Sutikno (2023) mengkaji daya dukung fondasi tiang bor pada proyek pembangunan jalan tol layang (*elevated*) dengan memanfaatkan data SPT dan hasil pengujian PDA. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa perhitungan daya dukung ultimit menggunakan Metode Reese

and Wright dan Reese dan O'Neill memberikan nilai yang signifikan, dengan daya dukung yang dihitung mencapai hasil aktual PDA.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis daya dukung fondasi tiang bor tunggal setelah fondasi terpasang, yang mendukung abutmen Jembatan Wai Rahwaen, berdasarkan data hasil pengujian PDA. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengestimasi daya dukung tiang tunggal sebelum fondasi terpasang, dengan menggunakan data N-SPT melalui pendekatan metode empiris, serta membandingkan daya dukung fondasi tiang bor hasil estimasi dengan hasil yang didapat dengan menggunakan pengujian PDA.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada Jembatan Wai Rahwaen, yang merupakan bagian Proyek Pembangunan Jalan dan Jembatan Alih Trase ruas jalan Mako–Modanmohe Tahun 2022/2023. Jembatan tersebut terletak di Pulau Buru, Provinsi Maluku, pada STA 74+450 dari arah Namlea.

Data yang digunakan bersumber dari dokumen *Detail Engineering Design* (DED) serta data hasil pengujian PDA yang dilakukan pada 4 sampel tiang terpasang, yaitu ABT1-01, ABT1-06, ABT2-12, dan ABT2-17. Sumber data lainnya adalah 2 sampel hasil penyelidikan tanah (N-SPT) di titik BH-01 dan BH-02.

Penelitian dilakukan dengan menganalisis data N-SPT menggunakan metode empiris Reese dan Wright, yang sebelumnya telah digunakan oleh Hilmi et al. (2024), dan metode empiris Reese dan O'Neill, yang sebelumnya juga telah digunakan oleh Wibowo et al. (2023), untuk menghitung daya dukung fondasi tiang bor. Hasil perhitungan dari data N-SPT kemudian dibandingkan dengan data daya dukung aktual yang diperoleh dari pengujian PDA Test, yang telah dianalisis menggunakan Metode Case Pile Wave Analysis Program (CAPWAP), untuk memperoleh kapasitas daya dukung ujung (Q_p) dan gesek (Q_s) tiang secara akurat (Likins dan Rausche, 2004).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data hasil penyelidikan tanah, kondisi geoteknik di lokasi proyek didominasi oleh lapisan batuan berlapis yang padat dan keras, seperti batuan berwarna kecokelatan hingga kehitaman. Material tersebut terbentuk melalui proses pelapukan dan sedimentasi dalam jangka waktu yang panjang, yang menghasilkan lapisan tanah dengan karakteristik yang sangat kuat pada berbagai kedalaman. Berdasarkan kondisi tersebut, fondasi dalam digunakan untuk memastikan kestabilan struktur jembatan terhadap beban yang bekerja.

Pada analisis estimasi daya dukung fondasi tiang tunggal digunakan 2 Metode, yaitu Reese dan Wright serta Reese dan O'Neill, menggunakan data hasil penyelidikan tanah yang

telah tersedia berupa nilai N-SPT. Selanjutnya, hasil perhitungan tersebut dibandingkan dengan data daya dukung aktual yang diperoleh dari pengujian PDA, yang telah dianalisis menggunakan Metode CAPWAP.

Perhitungan daya dukung fondasi tiang bor pada abutmen Jembatan Wai Rahwaen dilakukan berdasarkan data teknis tiang bor. Rangkuman data teknis tersebut ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Teknis Tiang Bor

Data Teknis Tiang Bor		
a)	Mutu Beton	- $f_c' = 30 \text{ MPa}$
b)	Mutu Tulangan	- Tul.= BJTS 420 Mpa, BJTP = 280 MPa
c)	Diameter	- 80 cm
d)	Kedalaman Tiang Bor ABT	- 20 m
e)	Luas Penampang Tiang (A_p)	- 0,5024 m ²
f)	Keliling Tiang (p)	- 2,512 m ²
g)	10D	- 8 m
h)	4D	- 3,2 m
i)	Nilai N-SPT di 10D	- 60
j)	Nilai N-SPT di 4D	- 60
k)	Nilai N'	- 60

Tabel 2 Data N-SPT Titik Bor BH-01

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT
0	Tanah penutup, timbunan serpihan batu	0
2	Batuan berlapis kecoklatan	60
4	Batuan berlapis kecoklatan	60
6	Batuan berlapis kecoklatan	60
8	Batuan berlapis abu-abu	60
10	Batuan berlapis abu-abu	60
12	Batuan berlapis abu-abu	60
14	Batuan berlapis abu-abu	60
16	Batuan berlapis abu-abu kehitaman	60
18	Batuan berlapis abu-abu kehitaman	60
20	Batuan berlapis abu-abu kehitaman	60

Tabel 3 Data N-SPT Titik Bor BH-02

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT
0	Serpihan batuan berlapis abu-abu	0
2	Batuan berlapis abu-abu	60
4	Batuan berlapis abu-abu kehitaman	60
6	Batuan berlapis abu-abu kehitaman	60
8	Batuan berlapis abu-abu kehitaman	60
10	Batuan berlapis abu-abu kehitaman, sisipan batuan bolder putih	60
12	Batuan berlapis abu-abu kehitaman	60
14	Batuan berlapis abu-abu sisipan batu putih	60
16	Batuan berlapis abu-abu kehitaman	60
18	Batuan berlapis abu-abu kehitaman	60
20	Batuan berlapis abu-abu kehitaman	60

Data penyelidikan tanah pada abutmen Jembatan Wai Rahwaen diperoleh dari 2 titik bor, yaitu titik bor BH-01 dan titik bor BH-02. Hasil penyelidikan menunjukkan bahwa nilai N-SPT pada kedalaman 2,0 m hingga 20,0 m secara konsisten bernilai 60. Nilai ini menunjukkan bahwa kondisi tanah di lokasi termasuk dalam kategori tanah keras. Rincian data N-SPT kedua titik bor tersebut disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Data N-SPT

Perhitungan daya dukung ultimit tiang bor tunggal pada abutmen Jembatan Wai Rahwaen dilakukan dengan menggunakan Metode Reese dan Wright (Hilmi et al., 2024) dan Metode Reese dan O'Neill (Wibowo et al., 2023). Analisis ini memanfaatkan data nilai N-SPT dari titik bor BH-01 dan titik bor BH-02, yang konsisten sebesar 60 dari kedalaman 2 m hingga 20 m. Berdasarkan klasifikasi tanah dan karakteristik tanah berdasarkan data N-SPT, tanah pada lokasi ini termasuk jenis tanah non-kohesif (granular), sehingga pendekatan yang digunakan sesuai dengan rumus empiris untuk tanah non-kohesif.

Metode Reese dan Wright (1977)

Daya dukung ultimit estimasi untuk fondasi tiang bor ditentukan dengan menggunakan Metode Reese dan Wright (1977), yang dihitung berdasarkan hasil uji N-SPT dan dilakukan pada titik BH-01 dan BH-02. Rincian hasil perhitungan daya dukung ultimit disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Daya Dukung Ultimit Tiang Bor Berdasarkan Metode Reese dan Wright pada Titik BH-01 dan BH-02

Kedalaman (m)	Panjang Lapisan Tanah (m)	N-SPT	Q_s (kN)	Kumulatif Q_s , (kN)	Q_p (ton)	Q_u (ton)
0	0	0	0	0	0	0
2	2	60	60,3	60,3	-	6,15
4	2	60	60,3	120,6	-	12,30
6	2	60	60,3	180,9	-	18,45
8	2	60	60,3	241,2	-	24,60
10	2	60	60,3	301,4	-	30,73
12	2	60	60,3	361,7	-	36,88
14	2	60	60,3	422,0	-	43,03
16	2	60	60,3	482,3	-	49,18
18	2	60	60,3	542,6	-	55,33
20	2	60	60,3	602,9	211,01	272,5

Pada kedalaman 0 meter, nilai N-SPT masih bernilai 0, terlihat lapisan tanah terdiri atas tanah penutup atau timbunan serpihan batu yang bersifat sangat lunak dan tidak memberikan pengaruh terhadap daya dukung tiang. Karena tiang belum menembus lapisan tanah, berarti belum terjadi tekanan pada ujung tiang. Oleh karena itu, nilai daya dukung ujung (Q_p), daya dukung selimut (Q_s), maupun daya dukung ultimit (Q_u) di kedalaman ini bernilai 0.

Mulai dari kedalaman 2 m hingga 20 m, nilai N-SPT yang tercatat pada titik bor BH-01 dan BH-02 bernilai 60 di setiap lapisan. Nilai ini menunjukkan bahwa tanah tergolong keras dan bersifat non-kohesif atau granular. Dari kedalaman 2 m hingga 18 m, nilai Q_s per lapisan dihitung menggunakan rumus:

$$Q_s = 0,2 \times N\text{-SPT} \times P \times Li \quad (1)$$

Dengan N-SPT bernilai 60, keliling tiang (P) bernilai 2,512 m, dan panjang lapisan tanah (Li) sebesar 2 m, diperoleh nilai Q_s sebesar 60,3 kN per lapisan, dan bila dikumulatifkan mencapai 602,9 kN pada kedalaman 20 m.

Pada kedalaman 20 m, perhitungan daya dukung ujung (Q_p) dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$Q_p = 7 \times N \times A_p \quad (2)$$

Dengan luas penampang tiang (A_p) 0,5024 m², diperoleh:

$$Q_p = 7 \times 60 \times 0,5024 = 211,01 \text{ ton.}$$

Setiap nilai Q_u pada lapisan sebelumnya (2m hingga 18 m) dihitung berdasarkan konversi kumulatif Q_u ke ton, yaitu:

$$Q_u = \text{Kumulatif } Q_s \times 0,10197.$$

Sebagai contoh, pada kedalaman 2 m:

$$60,3 \text{ kN} \times 0,10197 = 6,15 \text{ ton,}$$

pada kedalaman 4 m:

$$120,6 \text{ kN} \times 0,10197 = 12,30 \text{ ton,}$$

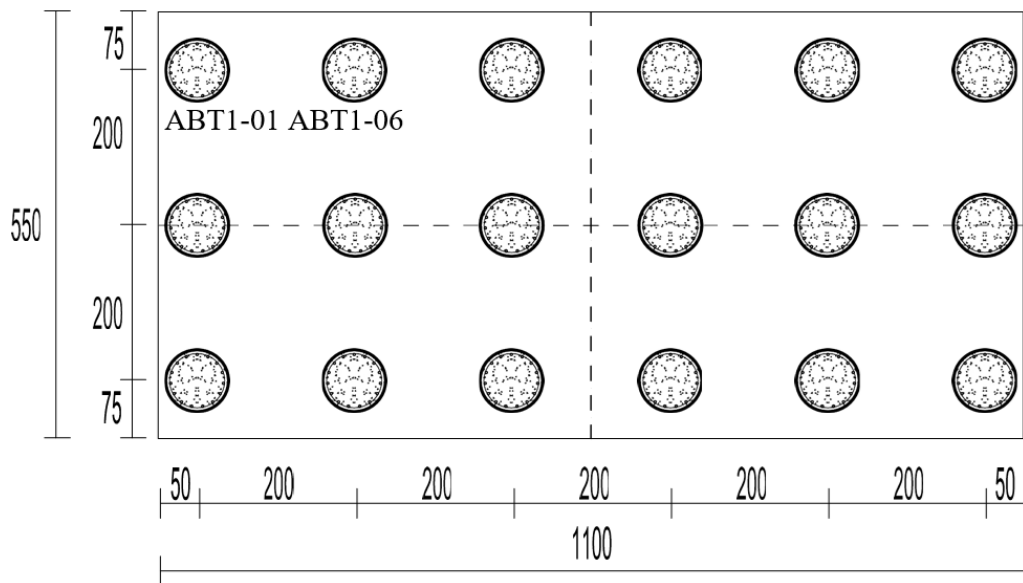
dan pada kedalaman 20 m:

$$(602,9 \text{ kN} \times 0,10197) + Q_p = 61,475 + 211,01 = 272,5 \text{ ton.}$$

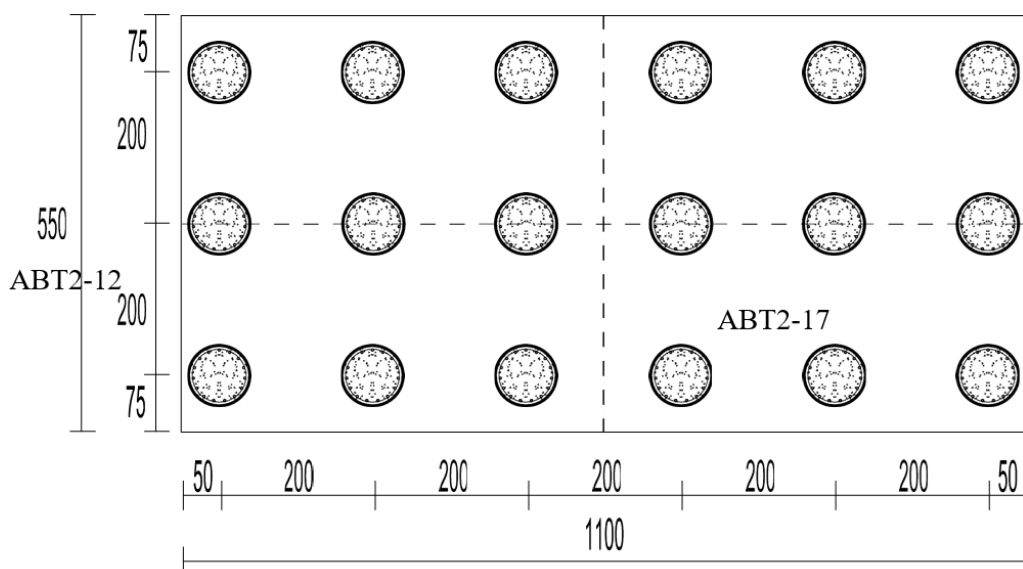
Nilai daya dukung selimut (Q_s) bertambah secara bertahap seiring dengan bertambahnya kedalaman tanah. Sementara itu, daya dukung ujung tiang (Q_p), yang dihitung sekali hanya pada ujung tiang bor pada kedalaman paling bawah (20 m), memberikan kontribusi paling besar terhadap total daya dukung fondasi ultimit (Q_u) tiang bor.

Penelitian serupa dilakukan oleh Hilmi et al. (2024). Secara teoritis, diperoleh estimasi daya dukung tiang ultimit yang lebih kecil, yaitu 76,92 ton pada kedalaman 20 m, dihitung dengan Metode Reese dan Wright. Sedangkan hasil uji PDA menunjukkan daya dukung realisasi yang juga lebih kecil, yaitu 208 ton. Perbedaan terjadi karena perbedaan struktur tanah tempat fondasi tiang bor digunakan. Hasil perhitungan teoritis pada penelitian ini, dengan metode yang sama, menghasilkan daya dukung ultimit yang lebih besar, yaitu

272,5 ton. Hal ini disebabkan oleh struktur tanah yang menghasilkan nilai N-SPT rata-rata sebesar 60, yang mana nilai ini relatif besar, karena secara fisik terdiri atas batuan berlapis (Tjowasi, 2022). Hasil uji PDA pada 4 titik, dengan titik ABT1-01 dan titik ABT1-06 pada abutmen 1 seperti yang terlihat pada Gambar 1, dan titik ABT2-12 dan titik ABT2-17 pada abutmen 2 seperti yang terlihat pada Gambar 2, memberikan daya dukung fondasi tiang bor realisasi sebesar 316,2 ton. Daya dukung realisasi ini lebih tinggi dibandingkan dengan daya dukung estimasi yang diperoleh dengan menggunakan Metode Reese dan Wright, karena pada saat pelaksanaan pekerjaan fondasi tiang bor tepat berada di atas tanah keras.



Gambar 1 Denah Fondasi Tiang Bor Abutmen 1 (Tjowasi, 2022)



Gambar 2 Denah Fondasi Tiang Bor Abutmen 2 (Tjowasi, 2022)

Metode Reese dan O'Neill (1989)

Daya dukung ultimit estimasi untuk fondasi tiang bor dihitung dengan menggunakan Metode Reese dan O'Neill (1989) berdasarkan hasil uji N-SPT yang dilakukan pada titik BH-01 dan BH-02. Rangkuman hasil perhitungan daya dukung ultimit disajikan Tabel 5.

Tabel 5 Daya Dukung Ultimit Tiang Bor Berdasarkan Metode Reese dan O'Neill pada Titik BH-01 dan Titik BH-02

Kedalaman (m)	Panjang Lapisan Tanah (m)	N-SPT	Q _s (kN)	Kumulatif Q _s , (kN)	Q _p (ton)	Q _u (ton)
0	0	0	0	0	0	0
2	2	60	96,46	96,46	-	9,84
4	2	60	96,46	192,92	-	19,67
6	2	60	96,46	289,38	-	29,51
8	2	60	96,46	385,84	-	39,34
10	2	60	96,46	482,3	-	49,18
12	2	60	96,46	578,76	-	59,02
14	2	60	96,46	675,22	-	68,85
16	2	60	96,46	771,68	-	78,69
18	2	60	96,46	868,14	-	88,52
20	2	60	96,46	964,60	211,01	309,4

Pada kedalaman 0 meter, nilai N-SPT adalah 0, yang menunjukkan bahwa lapisan ini terdiri atas tanah penutup atau timbunan serpisian batu yang bersifat sangat lunak dan tidak memberikan pengaruh terhadap daya dukung tiang. Karena tiang belum menembus lapisan tanah, berarti belum terjadi tekanan pada ujung tiang. Oleh karena itu, daya dukung ujung (Q_p), daya dukung selimut (Q_s), dan daya dukung ultimit (Q_u) pada kedalaman ini adalah 0.

Mulai dari kedalaman 2 m hingga 20 m, nilai N-SPT yang tercatat pada titik bor BH-01 dan BH-02 adalah 60 di setiap lapisan. Nilai ini menunjukkan bahwa tanah tergolong keras dan bersifat non-kohefif atau granular.

Dari kedalaman 2 hingga 18 m, nilai Q_s per lapisan dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q_s = 0,2 \times N\text{-SPT} \times P \times Li \quad (3)$$

Dengan N-SPT bernilai 60, keliling tiang (P) sebesar 2,512 m, dan panjang lapisan tanah (Li) sebesar 2 m, diperoleh nilai Q_s sebesar 96,46 kN per lapisan. Selanjutnya, dijumlahkan secara kumulatif hingga mencapai 964,60 kN pada kedalaman 20 m.

Pada kedalaman 20 m, perhitungan daya dukung ujung (Q_p) dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$Q_p = 7 \times N' \times A_p \quad (4)$$

Dengan luas penampang tiang A_p 0,5024 m², diperoleh:

$$Q_p = 7 \times 60 \times 0,5024 = 211,01 \text{ ton.}$$

Setiap nilai Q_u pada lapisan sebelumnya (2 m hingga 18 m) dihitung berdasarkan konversi kumulatif Q_u ke ton, yaitu:

$$Q_u = \text{Kumulatif } Q_s \times 0,10197 \quad (5)$$

Misalnya, pada kedalaman 2 m:

$$96,46 \text{ kN} \times 0,10197 = 9,84 \text{ ton},$$

pada kedalaman 4 m:

$$192,92 \text{ kN} \times 0,10197 = 19,67 \text{ ton},$$

dan pada kedalaman 20 m:

$$(964,60 \text{ kN} \times 0,10197) + Q_p = 98,36 + 211,01 = 309,4 \text{ ton}.$$

Dengan demikian terlihat bahwa nilai daya dukung selimut (Q_s) bertambah secara bertahap seiring dengan bertambahnya kedalaman tanah. Sementara itu, daya dukung ujung tiang (Q_p), yang dihitung sekali hanya pada ujung tiang bor pada kedalaman paling bawah, yaitu 20 m, memberikan kontribusi yang paling besar terhadap total daya dukung fondasi ultimit (Q_u) tiang bor.

Penelitian serupa juga pernah dilakukan oleh Wibowo et al. (2023). Secara teoritis diperoleh estimasi kapasitas dukung tiang ultimit yang lebih besar, yaitu 461,15 ton pada kedalaman 13 m, yang dihitung dengan menggunakan Metode Reese dan O'Neill. Sedangkan hasil uji PDA menunjukkan bahwa daya dukung realisasi juga lebih besar, yaitu 466 ton. Perbedaan tersebut terjadi karena perbedaan struktur tanah tempat fondasi tiang bor berada. Hasil perhitungan teoritis pada penelitian ini, dengan menggunakan metode yang sama, menghasilkan daya dukung ultimit yang lebih kecil, yaitu 309,4 ton, yang disebabkan oleh struktur tanah yang menghasilkan nilai N-SPT rata-rata sebesar 60. Nilai ini merupakan nilai yang relatif besar, karena secara fisik tanah terdiri atas batuan berlapis (Tjowasi, 2022).

Hasil uji PDA pada 4 titik, yaitu titik ABT1-01 dan titik ABT1-06 pada abutmen 1 sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 1, serta titik ABT2-12 dan titik ABT2-17 pada abutmen 2 sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2, memberikan daya dukung fondasi tiang bor realisasi sebesar 316,2 ton. Daya dukung realisasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan daya dukung estimasi yang didapat dengan menggunakan Metode Reese dan O'Neill ini terjadi karena pada saat pelaksanaan pekerjaan, fondasi tiang bor tepat berada di atas tanah keras.

Analisis Hasil Uji PDA

Pengujian daya dukung tiang bor menggunakan Metode Pile Diving Analyzer (PDA) merupakan bagian proses verifikasi terhadap kapasitas aktual tiang yang terpasang di lapangan.

Pengujian PDA dilakukan terhadap 4 tiang bor terpasang, yaitu tiang ABT1-01 dan tiang ABT1-06 pada abutmen 1 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, serta tiang ABT2-12 dan tiang ABT2-17 pada abutmen 2 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Keempat sampel uji ini dianggap mewakili total 18 fondasi tiang bor yang terpasang.

Data hasil pengujian PDA mencakup 2 metode analisis, yaitu CASE Analysis dan CAPWAP Analysis. CASE Analysis memberikan estimasi awal kapasitas tiang berdasarkan respons gelombang akibat tumbukan, sedangkan CAPWAP memberikan hasil yang lebih rinci karena mempertimbangkan karakteristik tanah dan interaksi tiang secara lebih realistis. Ringkasan hasil pengujian terhadap keempat tiang uji disajikan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6 Hasil Analisis PDA Test (CASE) pada Tiang Bor (Prayoga, 2024)

No. Tiang	RMX (ton)	FMX (ton)	CSX (MPa)	TSX (MPa)	DMX (mm)	DFN (mm)
ABT1-01	282	296	5,9	1,3	2,1	0,2
ABT1-06	324	572	11,4	1,0	1,7	0,4
ABT2-12	314	344	6,8	1,3	3,0	0,5
ABT2-17	310	728	14,5	7,1	2,4	0,7

Tabel 7 Hasil Analisis PDA Test (CAPWAP) pada Tiang Bor (Prayoga, 2024)

No. Tiang	Kapasitas Total Q_u (ton)	Gaya Gesek Selimut Q_s (ton)	Daya Dukung Ujung O_p (ton)
ABT1-01	289,6	158,5	131,1
ABT1-06	332,7	194,2	138,5
ABT2-12	322,6	164,3	158,3
ABT2-17	320,0	154,5	165,5

Nilai RMX hasil CASE Analysis menunjukkan kapasitas tiang saat terjadi tumbukan maksimum. Sementara itu, nilai CSX dan TSX menunjukkan distribusi tegangan maksimum dalam arah tekan dan tarik. Berdasarkan hasil CAPWAP Analysis, kapasitas daya dukung total tertinggi dicapai oleh tiang ABT1-06, yaitu sebesar 332,7 ton, dengan kontribusi gesekan selimut (Q_s) sebesar 194,2 ton dan tahanan ujung (Q_p) sebesar 138,5 ton.

Perbandingan dan Evaluasi Hasil Analisis

Perbandingan dilakukan antara nilai estimasi daya dukung fondasi tiang bor tunggal yang diperoleh dengan menggunakan metode analisis berdasarkan data N-SPT (Reese dan Wright serta Reese dan O'Neill) dengan daya dukung fondasi terpasang atau realisasi yang diperoleh melalui pengujian lapangan menggunakan Metode PDA Test (CAPWAP Analysis). Keempat tiang yang diuji adalah tiang ABT1-01, tiang ABT1-06, tiang ABT2-12, dan tiang ABT2-17. Keempat tiang ini yang masing-masing mewakili kondisi tiang pada abutmen 1 dan pada abutmen 2. Rangkuman perbandingan antara hasil PDA Test dan perhitungan dengan data N-SPT disajikan pada Tabel 8.

Berdasarkan hasil yang terdapat pada Tabel 8, dapat diketahui bahwa nilai rata-rata daya dukung fondasi (realisasi) keempat fondasi tiang bor terpasang, yang diuji menggunakan Metode PDA Test, adalah sebesar 316,2 ton. Sementara itu, hasil estimasi daya dukung tiang menggunakan Metode Reese dan Wright menghasilkan nilai sebesar 272,5 ton, yang mana nilai ini berada jauh di bawah hasil aktual, dengan selisih sebesar 43,7 ton atau 13,8%. Sedangkan Metode Reese dan O'Neill memberikan estimasi yang lebih mendekati hasil pengujian lapangan, yaitu 309,4 ton, dengan selisih 6,8 ton atau 2,2%.

Tabel 8 Perbandingan Hasil PDA Test dengan Hitungan Data N-SPT

No. Tiang	Realisasi atau Terpasang (Metode PDA Test) Q_u (ton)	Estimasi (Metode Reese dan Wright) Q_u (ton)	Estimasi (Metode Reese dan O'Neill) Q_u (ton)
ABT1-01	289.6		
ABT1-06	332.7		
ABT2-12	322.6	272,5	309,4
ABT2-17	320.0		
Rata-rata	316,2		
Selisih terhadap PDA Test		- 43,7 (- 13,8%)	- 6,8 (- 2,2%)

Hasil tersebut menunjukkan bahwa Metode Reese dan O'Neill sedikit lebih mendekati nilai realisasi, meskipun tetap jauh berada di bawah nilai realisasi. Perbedaan antara nilai estimasi dan hasil uji di lapangan dikarenakan metode estimasi menggunakan data tanah yang berasal dari hasil pengujian N-SPT, yang dilakukan sebelum tiang dipasang. Sedangkan hasil pengujian PDA menunjukkan kondisi aktual setelah tiang dipasang. Misalnya, saat tanah dibor untuk pemasangan tiang, struktur tanah bisa terganggu atau menjadi lebih longgar, sehingga daya dukungnya berbeda bila dibandingkan dengan nilai data awal yang diperoleh melalui uji SPT.

Dalam praktiknya, hasil yang diperoleh melalui Metode pengujian PDA umumnya dianggap lebih mewakili kondisi yang sebenarnya di lapangan. Dengan demikian, Metode Reese dan Wright sebetulnya lebih cocok digunakan untuk perancangan awal dengan mempertimbangkan faktor keamanan yang besar. Sedangkan Metode Reese dan O'Neill dapat dijadikan pendekatan alternatif dalam tahap verifikasi desain awal.

Berdasarkan penelitian serupa yang dilakukan oleh Rahman et al. (2020) pada proyek pembangunan Jalan Tol Bogor Ring Road Seksi IIIA, juga ditemukan adanya selisih antara hasil estimasi daya dukung fondasi tiang bor yang didasarkan data nilai N-SPT dan hasil pengujian menggunakan PDA. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh menggunakan pengujian PDA lebih mencerminkan kondisi aktual di lapangan setelah tiang terpasang. Hal ini sejalan dengan temuan dalam analisis pada proyek Jembatan Wai Rahwaen, yang mana Metode Reese dan O'Neill memberikan nilai estimasi yang lebih mendekati hasil uji lapangan dibandingkan dengan Metode Reese dan Wright.

KESIMPULAN

Studi ini dilakukan untuk menganalisis daya dukung fondasi tiang bor tunggal setelah fondasi terpasang, yang mendukung abutmen Jembatan Wai Rahwaen, di Pulau Buru, Provinsi Maluku. Pada studi ini dilakukan estimasi daya dukung tiang tunggal sebelum fondasi tiang tersebut terpasang serta membandingkan hasil estimasi dengan hasil yang diperoleh melalui pengujian PDA.

Daya dukung fondasi tiang bor tunggal yang diamati ditentukan dengan menggunakan Metode Reese dan Wright serta Metode Reese dan O'Neill, berdasarkan data N-SPT. Kemudian hasilnya dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari pengujian PDA yang dianalisis dengan Metode CAPWAP, dengan menggunakan sampel 4 tiang uji.

Daya dukung fondasi tiang bor terpasang berdasarkan hasil pengujian PDA terhadap 4 tiang bor terpasang, yaitu tiang ABT1-01, tiang ABT1-06, tiang ABT2-12, dan tiang ABT2-17, memberikan hasil kapasitas daya dukung ultimit (Q_u) untuk tiang ABT1-01 sebesar 289,6 ton, untuk tiang ABT1-06 sebesar 332,7 ton, untuk tiang ABT2-12 sebesar 322,6 ton, dan untuk tiang ABT2-17 sebesar 320,0 ton. Nilai rata-rata daya dukung fondasi tiang bor tunggal terpasang adalah sebesar 316,2 ton.

Daya dukung fondasi tiang bor dirancang berdasarkan perhitungan yang menggunakan data N-SPT. Data N-SPT tersebut diperoleh dari penyelidikan tanah, pada titik BH-01 dan titik BH-02. Nilai N-SPT yang diperoleh adalah konstan 60, dari kedalaman 2 m hingga 20 m. Selanjutnya, daya dukung ultimit fondasi tiang bor ditentukan dengan menggunakan 2 metode empiris, yaitu Metode Reese dan Wright (1977) dan Metode Reese dan O'Neill (1989). Nilai daya dukung ultimit yang diperoleh dengan menggunakan Metode Reese dan Wright adalah 272,5 ton, sedangkan nilai daya dukung ultimit yang diperoleh dengan menggunakan Metode Reese dan O'Neill adalah 309,4 ton.

Dari perbandingan terhadap daya dukung yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian PDA dan daya dukung yang diperoleh berdasarkan data N-SPT menunjukkan bahwa Metode Reese dan Wright memberikan nilai estimasi daya dukung tiang bor yang jauh lebih rendah daripada nilai daya dukung tiang bor yang diperoleh dengan berdasarkan hasil pengujian PDA, dengan selisih rata-rata 43,7 ton atau 13,8%. Selain itu, studi ini menunjukkan bahwa Metode Reese dan O'Neill menghasilkan estimasi yang lebih mendekati hasil yang diperoleh berdasarkan pengujian PDA, dengan selisih rata-rata 6,8 ton atau 2,2%. Perbedaan ini masih dapat dikatakan wajar, karena perhitungan berdasarkan N-SPT dilakukan sebelum pemasangan tiang, sedangkan perhitungan berdasarkan pengujian PDA menggambarkan kondisi aktual di lapangan setelah pemasangan tiang bor (Djarwanti et al., 2015). Meskipun memberikan hasil yang berbeda, kedua metode estimasi ini tetap layak digunakan sebagai dasar perancangan awal fondasi tiang bor.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, S.S., Roestaman, dan Permana, S. 2021. *Analisis Perbandingan Kapasitas Kuat Dukung Pondasi Bore Pile Berdasarkan Hasil Pengujian SPT dan CPT*. Jurnal Konstruksi, 19 (2): 549–560.
- Artiwi, N.P., Wibowo, S.C., dan Hariyanto, B. 2023. *Analisa Daya Dukung Bored Pile Pada Jembatan Cibeurang Ruas Jalan Cipanas–Warung Banten*. Journal of Sustainable Civil Engineering (JOSCE), 5 (02): 166–171.
- Daulay, A.F.P., Matondang, T.A.R., dan Surbakti, R. 2024. *Analisis Daya Dukung dan Potensi Penurunan Tiang Bor pada Proyek Gedung Menara BRI Medan*. Prosiding Konferensi Nasional Social dan Engineering Politeknik Negeri Medan Tahun 2024: 1268–1277.
- Djarwanti, N., Dananjaya, H.I.R.H., dan Maharani, G. 2015. *Komparasi Nilai Daya Dukung Tiang Tunggal Pondasi Bor Menggunakan Data SPT, dan Hasil Loading Test pada Tanah Granuler*. E-Jurnal Matriks Teknik Sipil: 720–725.
- Djarwanti, N., Dananjaya, H.I.R.H., dan Arganata, O.F. 2015. *Korelasi Daya Dukung Pondasi Tiang Bor dengan Metode Reese and O'Neill terhadap Metode Terzaghi and Peck Berdasarkan Hasil Uji SPT*. E-Jurnal Matriks Teknik Sipil: 775–781.
- Hilmi, M.I., Nofiana, T., Suzanti, W., Panulisan, B.S., Cahyadi, C., dan Setiawati, D.N. 2024. *Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Bored Pile antara Hasil Analisa dengan Hasil Pile Driving Analyzer (PDA) Test pada Proyek Jembatan Gantung Bojong Apus*. Vierendeel Journal, 1 (1): 1–11.
- Januar, G.R., dan Agung, P.A.M. 2023. *Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Bor pada Struktur Kepala Jembatan*. Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT), 4 (1): 30–37.
- Julita, H., Haloho, S., Sitepu, A.R.H., dan Syuhada, S. 2025. *Analisis Perbandingan Daya Dukung Fondasi Tiang Bor Berdasarkan Hasil Penyelidikan Tanah dan Pengujian Dinamis (Studi Kasus: Jembatan Way Pengubuan)*. Menara: Jurnal Teknik Sipil, 20 (1): 108–116.
- Likins, G.E. dan Rausche, F. 2004. *Recent Advances and Proper Use of the Pile Driving Analyzer*. GRL Engineers, Inc. Cleveland, OH.
- Prayoga, B. 2024. *Laporan Akhir Pile Driving Analyzer (PDA) High Strain Dynamic Testing of Deep Foundation*. Duta Mandiri Grup. Majalengka.
- Rahman, A.A., Hariati, F., Chayati, N., dan Taqwa, F.M.L. 2020. *Korelasi Hasil Analisis Daya Dukung Ultimit Tiang Bor dengan Hasil Pengujian PDA (Studi Kasus: Pembangunan Jalan Tol Bogor Ring Road Seksi IIIA Simpang Yasmin-Simpang Salabenda)*. Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil, 4 (2): 43–49.
- Ramadhan, J. dan Sutikno. 2023. *Analisis Daya Dukung Fondasi Bored Pile Berdasarkan Data Spt dan Pda Test*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil, 5 (2): 569–576.

- Solaiman, A.S., Talakua, E., Latar, S., dan Hamkah, H. 2022. *Analisis Pengaruh Review Design terhadap Daya Dukung Fondasi Jembatan Wai Samaa/Pana Kabupaten Seram Bagian Barat*. Proceedings of Life and Applied Sciences, 2: 97–108.
- Tjowasi, Y. 2022. *Dokumen Kontrak Paket Pekerjaan Konstruksi Pembangunan Jalan dan Jembatan Alih Trase Mako-Modanmohe (P. Buru)*. Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Maluku. Ambon.