

Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Berdasarkan Data N-SPT Diverifikasi dengan Nilai PDA dan CAPWAP

Muhamad Fajri Nurul Hakim¹, Muhamad Abdul Hadi^{2,*}

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Article Info

Available online

Keywords:

Foundation Bearing Capacity
Foundation Degression
Pile Driving Analyzer
CAPWAP

Corresponding Author:

Muhamad Abdul Hadi
muhamad.abdul.hadi@uii.ac.id

Abstract

Foundation planning begins with determining the loads that will work or be distributed from the structures above it and then proceed with the process of determining the value of the bearing capacity of the foundation by gathering information about soil parameters at the plan location. One of the bridges in Section 1 of the Yogyakarta-Bawen toll road development project is the Sangu Banyu Underbridge which is located at Sta 72+925. To support the bridge structure, bored pile foundations are used as structural elements at the bottom of the bridge. The bearing capacity calculation method used is the Reese & Wright (1997) method and the pile settlement calculation used is the empirical method. The results of calculating the percentage difference in the settlement of the empirical method and the PDA test are -38.90%, -44.46%, -50.01%, -40.35%, and -45.77%. The results of these percentages indicate that there has been a large decrease in the settlement value of the piles for all the tested piles and the average settlement percentage is -43.90. The results of the calculation of the percentage difference in settlement of the empirical method and CAPWAP analysis are -6.69 %, -3.36 %, -24.46 %, -8.90 %, and -8.36 %. The results of these percentages indicate that there was a large decrease in the settlement value of the piles for all the tested piles and the average percentage settlement was -10.35%

Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Latar Belakang

Perencanaan suatu bangunan konstruksi dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu struktur atas dan struktur bawah. Salah satu contoh struktur yang termasuk ke dalam struktur bawah adalah pondasi. Pondasi merupakan salah satu unsur yang paling penting dalam sebuah bangunan. Pondasi berfungsi untuk meneruskan beban struktur yang ada di atasnya ke lapisan tanah yang ada di bawahnya (Muthmainnah, 2021). Perencanaan pondasi diawali dengan menentukan beban-beban yang akan bekerja atau disalurkan dari struktur-struktur yang ada di atasnya dan

kemudian dilanjutkan dengan proses penentuan nilai kapasitas daya dukung dari pondasi tersebut dengan cara mengumpulkan informasi mengenai parameter-parameter tanah di lokasi rencana.

Salah satu penyelidikan tanah yang dapat dilakukan untuk mencari data tersebut adalah dengan menggunakan data hasil uji SPT. Data hasil uji SPT yang dimaksud adalah berupa nilai kepadatan relatif (*relative density*), sudut geser tanah (θ) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N).

Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta - Bawen adalah proyek yang dilaksanakan guna mewujudkan salah satu program

pemerintah yaitu mengenai penyediaan infrastruktur jalan tol di wilayah Pulau Jawa terutama bagian tengah yang nantinya akan menjadi satu kesatuan dengan jalan Tol Semarang – Solo dan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – Yogyakarta International Airport Kulon Progo sehingga dapat menjadi segitiga emas yang diharapkan berperan meningkatkan perekonomian dan konektivitas wilayah, khususnya Jogja, Solo, dan Semarang (Joglosemar). Jalan tol ini termasuk bagian dari Jalan Tol Trans Jawa yang mana jalan tol ini dikelola langsung oleh Badan Usaha Jalan Tol (BUJT) PT. Jasa Marga Jogja Bawen.

Pada Seksi 1 proyek ini terdapat beberapa penggunaan struktur jembatan sebagai penghubung antar wilayah yang terpisah oleh sungai dan sebagai sarana untuk mengikuti geometri jalan yang sudah ditentukan. Salah satu jembatan pada Seksi 1 pada proyek pembangunan jalan tol Yogyakarta-Bawen adalah *Underbridge* Sangu Banyu yang terletak pada Sta 72+925. Untuk mendukung struktur jembatan tersebut maka digunakan pondasi *bored pile* sebagai unsur struktur bagian bawah jembatan.

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil analisis kapasitas daya dukung ultimit (*Qult*) tiang pancang secara tunggal dari hasil perhitungan formula Reese dan Wright (1977), pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA) dan *Case Pile Wave Analysis Program* (CAPWAP) berdasarkan data nilai *Standard Penetration Test* (N-SPT)?
2. Bagaimana perbedaan kapasitas daya dukung ultimit (*Qult*) tiang pancang secara tunggal dari hasil analisis data tanah tak terganggu di lokasi yaitu data *Standard Penetration Test* dengan hasil analisis *Pile Driving Analyzer* (PDA) dan *Case Pile Wave Analysis Program* (CAPWAP)?

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kapasitas daya dukung ultimit

(*Qult*) tiang bor secara tunggal berdasarkan data hasil uji SPT melalui perhitungan formula Reese & Wright (1977) terhadap data hasil uji *Pile Driving Analyzer* (PDA) dan *Case Pile Wave Analysis Program* (CAPWAP). Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui perbedaan hasil perhitungan daya dukung ultimit (*Qult*) dan hasil uji hasil uji *Pile Driving Analyzer* (PDA) dan *Case Pile Wave Analysis Program* (CAPWAP) pada tiang bor secara tunggal dan mendapatkan nilai yang lebih efisien.

Metode Penelitian

Subjek dan Objek Penelitian

Subjek dalam penelitian ini adalah kapasitas daya dukung dan penurunan pondasi tiang *bored pile* yang terjadi di lokasi konstruksi dengan menggunakan rumus-rumus pendekatan yang ada.

Objek dalam penelitian ini adalah *bored pile* yang dilakukan Uji PDA pada kelompok tiang yang menjadi pondasi untuk *Underbridge* Sangu Banyu (Sta 79+725) pada proyek pembangunan Jalan Tol Yogyakarta – Bawen Seksi 1 yang diawasi oleh PT. Eskapindo Matra KSO PT. Mitrapacific Consulindo selaku Konsultan Pengawas pada proyek tersebut.

Bored pile yang dilakukan pengujian PDA adalah *bored pile* nomor 2 dan 17 pada *Abutment* 1, *bored pile* nomor 20, 22 dan 41 pada *Abutment* 2 yang merupakan struktur bawah *Underbridge* Sangu Banyu.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dalam penelitian ini berada pada Desa Margokaton, Kecamatan Seyegan, Kabupaten Sleman.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian
(Sumber: Google Maps)

Landasan Teori

Kapasitas Daya Dukung

Kapasitas daya dukung adalah kekuatan struktur untuk melayani beban yang diterima dari struktur itu sendiri dan juga struktur yang berada di atasnya. Kapasitas tiang (*Pile Capacity*) adalah kapasitas dukung tiang dalam mendukung beban (Hardiatmo, 2011). Tanah yang menerima beban seperti beban struktur di atasnya seperti beban pondasi memiliki potensi mengalami penurunan. Salah satu perhitungan kapasitas daya dukung pada pondasi jenis tiang adalah kapasitas daya dukung tiang secara tunggal.

Kapasitas daya dukung tiang secara tunggal memiliki beberapa metode yang digunakan, salah satunya adalah dengan metode numerik. Hitungan kapasitas daya dukung secara numerik dilakukan berdasarkan parameter yang didapatkan dari hasil uji lapangan salah satunya adalah dari Uji SPT. Kapasitas daya dukung terdiri atas daya dukung ultimit (Q_{ult}) dan daya dukung izin (Q_{all}). Nilai kapasitas daya dukung ultimit didapatkan dari hasil pertambahan nilai tahanan ujung (Q_p), nilai tahanan gesek/friksi (Q_s), dan faktor lain.

Kapasitas Daya Dukung Ultimit dan Daya Dukung Izin Berdasarkan Data Uji N-Standard Penetration Test (N-SPT)

Kapasitas daya dukung ultimit tiang (Q_{ult}) dihitung dengan persamaan 1 dan persamaan 2 berikut :

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s - W_p \quad (1)$$

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} \quad (2)$$

dengan,

Q_{ult} = Kapasitas daya dukung ultimit (Ton)

Q_p = Tahanan ujung (Ton)

Q_s = Tahanan gesek/friksi (Ton)

Q_{all} = Kapasitas daya dukung izin (Ton)

SF = Koefisien *Safety Factor*

Rumus tahanan ujung tiang pada tanah non – kohesif adalah menggunakan Persamaan 3 berikut :

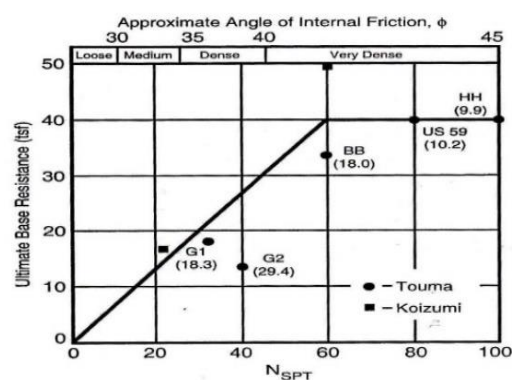
$$Q_p = A_p \times q_p \quad (3)$$

dengan,

A_p = Luas penampang ujung tiang (m^2)

q_p = Tahanan ujung per satuan luas (Ton/m^2)

Reese dan Wright (1977) merekomendasikan antara nilai q_p dan N-SPT untuk tanah non-kohesif adalah seperti Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Tahanan Ujung Ultimit pada Tanah Non-Kohesif
(Sumber: Reese dan Wright, 1977)

Jika jumlah N pada bagian ujung tiang < 60, maka nilai $q_p = 7N$ (t/m^2). Jika nilai

N pada ujung tiang > 60, maka nilai $q_p = 400 \text{ (t/m}^2\text{)}$.

N = Nilai SPT pada kedalaman ujung tiang

Rumus tahanan gesek tiang pada tanah non kohesif menggunakan persamaan 4 berikut:

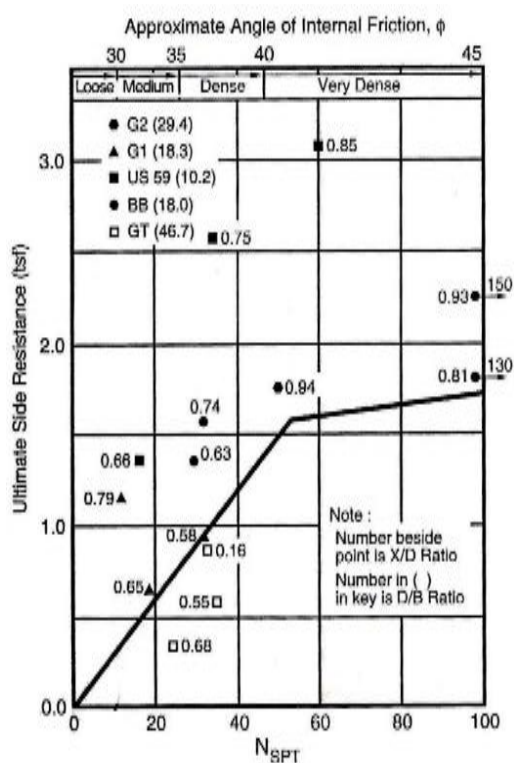
$$Q_s = A_s \times f_s \quad (4)$$

dengan,

A_s = luas selimut tiang (m^2)

f_s = tahanan gesek per satuan luas (t/m^2)

Reese dan Wright (1977) merekomendasikan korelasi antara nilai f_s dan N-SPT untuk tanah non kohesif adalah seperti Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Tahanan gesek per satuan luas pada tanah non-kohesif

(Sumber: Reese dan Wright, 1977)

Jika jumlah $N_{rt} < 53$, maka nilai $f_s = 0,32 N_{rt} \text{ (ton/m}^2\text{)}$. Jika jumlah $53 < N_{rt} < 100$, maka nilai f_s diperoleh langsung

dari grafik korelasi nilai N-SPT dengan nilai f_s .

N_{rt} = Nilai SPT rata-rata

Rumus berat sendiri pondasi tiang menggunakan persamaan 5 berikut :

$$W_p = A_b \times L \times B_j \quad (5)$$

dengan,

A_b = luas penampang ujung tiang (m^2)

A_s = Panjang tiang *bored pile* (m)

B_j = Berat jenis beton (Kg/m^3)

Penurunan Pondasi Tiang Bored Pile

Persamaan untuk melakukan perhitungan penurunan pondasi tiang berdasarkan metode empiris menggunakan persamaan 6 berikut:

$$S = \frac{D}{100} + \frac{Q \times L}{A_p \times E_p} \quad (6)$$

dengan,

S = Penurunan total pondasi tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

Q = beban yang bekerja (Ton)

L = Panjang tiang (m)

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

E_p = Modulus elastis tiang

$$= 4700 \sqrt{f'c}$$

Penurunan yang diizinkan

Persamaan penentuan nilai penurunan yang diizinkan menggunakan persamaan 7 berikut:

$$S_{total} \leq S_{izin} \quad (7)$$

dengan,

$$S_{izin} = 10\% \times D$$

D = Diameter tiang (m)

Pondasi Bored Pile

Pondasi *bored pile* berdasarkan klasifikasinya merupakan salah satu pondasi yang termasuk ke dalam kategori pondasi

dalam. Pondasi *bored pile* berdasarkan metode konstruksinya adalah pondasi yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah lebih dahulu. Pondasi *bored pile* biasanya dipilih apabila hasil penyelidikan tanah di lapangan menunjukkan bahwa lapisan tanah keras terletak di kedalaman yang sangat dalam.

Daya dukung dari pondasi dalam jenis ini dapat diperoleh dari daya dukung ujung (*End Bearing Capacity*) yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan daya dukung selimut atau friksi (*Friction Bearing Capacity*) yang diperoleh dari daya dukung gesek antara pondasi *bored pile* dengan tanah di sekitarnya.

Standard Penetration Test

SPT adalah suatu metode uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui, baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan (Hudoyo, 2017).

Standart Penetration Test (SPT) adalah sejenis percobaan dinamis dengan memasukan suatu alat yang dinamakan split spoonke dalam tanah. Percobaan ini akan diperoleh kepadatan relatif (*relative density*), sudut geser tanah (θ) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N).

Pile Driving Analyzer (PDA)

Salah satu pengujian tiang secara dinamis adalah dengan alat perekam untuk menganalisis gelombang akibat tumbukan palu yang dikenal dengan nama *Pile Driving Analyzer* (PDA). Tata cara pengujian dinamis harus sesuai dengan persyaratan ASTM S4945-17 "*Standard Test for High-Strain Dynamic Testing of Piles*". Ketika tiang ditumbuk, alat uji PDA mengukur regangan dan percepatan dengan bantuan alat *Strain Transducer* dan *Accelerometer* yang dipasang pada bagian atas tiang.

Parameter tiang yang dapat dihasilkan melalui uji PDA adalah sebagai berikut :

1. Kapasitas daya dukung tiang

2. Nilai keutuhan tiang
3. Penurunan (*displacement*) tiang
4. Efisiensi dari transfer energi palu (*hammer*) terhadap tiang

Case Pile Wave Analysis Program (CAPWAP)

Case Pile Wave Analysis Program (CAPWAP) merupakan salah satu metode *Signal Matching Analysis* (SMA). *Case Pile Wave Analysis Program* (CAPWAP) adalah sebuah *software* yang digunakan untuk menganalisis gaya dan kecepatan rambatan gelombang yang diperoleh dari hasil pengujian. Oleh karena itu, program ini merupakan tahapan lanjutan dari hasil pengujian yang didapatkan dari uji PDA. Analisis ini menggunakan data yang diperoleh dari pengujian PDA untuk memberikan hasil analisis yang lebih detail. Dari analisis CAPWAP kita akan mengetahui secara lebih detail data yang didapatkan dari uji PDA dengan tambahan informasi seperti berikut :

1. Tahanan ujung pondasi tiang tunggal
2. Tahanan friksi pondasi tiang tunggal
3. Simulasi *static loading test*

Analisis Perhitungan, Data Hasil Uji PDA dan Analisis CAPWAP

Data N-SPT

Data nilai N-SPT pada area *Abutment 1* dan *Abutment 2 Underbridge* Sangu Banyu STA 72+925 dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

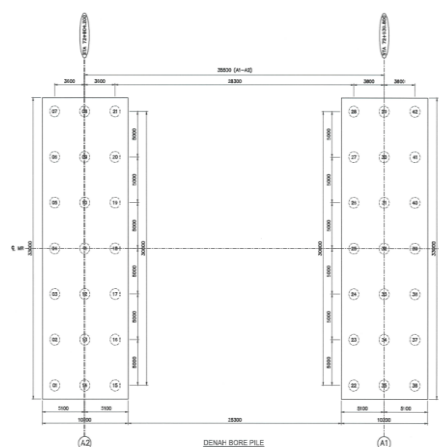
Tabel 1. Data N-SPT pada area *Abutment 1 Underbridge Sangu Banyu Sta 72+925*

Data N-SPT				
Kedalaman	Lokasi	Jumlah Pukulan	Lokasi	Jumlah Pukulan
-2		6		11
-4		12		13
-6		15		24
-8		6		5
-10		19		4
-12		9		32
-14		6		7
-16		21		24
-18		31		10
-20		38		34
-22	A1	60	A2	32
-24		43		35
-26		48		5
-28		60		57
-30		43		58
-32		48		60
-34		41		63
-36		25		40
-38		24		42
-40		29		45

Keterangan dari hasil Bor Log, menunjukkan bahwa dari muka tanah hingga kedalaman -2.00m adalah jenis tanah Pasir (*Sand*) dengan nilai $N_{spt} = 4 - 10$, Kedalaman -2.00 m sampai - 20.00 m merupakan tanah Pasir (*Sand*) dengan nilai $N_{spt} = 10 - 30$. Lapisan tanah keras terletak pada kedalaman - 20.00 m sampai dengan kedalaman - 50.00 m yang merupakan tanah pasir dengan nilai $N_{spt} = 30 - 50$.

Data Bored Pile Underbridge Sangu Banyu Sta 72+925

Bored Pile pada *Underbridge Sangu Banyu Sta 72+925* berjumlah 24 buah untuk masing-masing *Abutment*. Data distribusi titik *Bored Pile Underbridge Sangu Banyu Sta 72+925* untuk *Abutment 1* dan *Abutment 2* dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Denah *Bored Pile Underbridge Sangu Banyu Sta 72+925*
Pemakaian tiang pancang pada *Underbridge Sangu Banyu Sta 72+925* seperti disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Pemakaian Tiang Bor pada Underbridge Sangu Banyu Sta 72+925

No.	Pondasi	L (m)	D (cm)	Jumlah
1	Abutment 1	32	120	21
2	Abutment 2	34	120	21

Perhitungan Daya Dukung Bored Pile berdasarkan Data N-SPT

Perhitungan kapasitas daya dukung pondasi *bored pile* dari data N-SPT menggunakan metode Reese dan Wright (1977) karena pada lokasi penelitian merupakan tanah tipe berpasir. Diketahui parameter-parameter perhitungan yaitu dimensi tiang adalah sebesar 1,2 m. Panjang kedalaman tiang adalah sepanjang 32 m untuk tiang di *Abutment 1* dan 34 m untuk di *Abutment 2*. Berat jenis beton yang digunakan adalah sebesar 2400 kg/m³. Beban rencana yang dibebankan pada struktur ini adalah sebesar 470 Ton untuk kedua struktur tersebut.

Dari parameter-parameter yang sudah didapatkan dan nilai N_{spt} untuk tahanan ujung masing-masing struktur, maka perhitungan daya dukung pondasi *Bored Pile* berdasarkan data N-SPT dapat dilakukan.

Perhitungan yang dilakukan meliputi perhitungan Daya Dukung Ujung Tiang (Q_u), perhitungan Daya Dukung Friksi (Q_s), perhitungan Berat Sendiri Pondasi Tiang (W_p), perhitungan Kapasitas Daya Dukung Ultimate (Q_{ult}), dan perhitungan Daya Dukung Izin (Q_{all}). Hasil dari analisis perhitungan daya dukung ujung tiang dan daya dukung friksi dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut.

Tabel 3. Daya Dukung Ujung Tiang (Q_p) pada Underbridge Sangu Banyu Sta 72+925

No.	Pondasi	Q_p	Satuan
1	Abutment 1	364.17	Ton
2	Abutment 2	356.26	Ton

Tabel 4. Daya Dukung Friksi (Q_s) pada Underbridge Sangu Banyu Sta 72+925

No.	Pondasi	Q_s	Satuan
1	Abutment 1	1127.23	Ton
2	Abutment 2	1232.55	Ton

Hasil dari analisis perhitungan beban sendiri tiang, daya dukung ultimate, dan daya dukung izin dapat dilihat pada Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7 berikut:

Tabel 5. Beban Sendiri Tiang (W_p) pada Underbridge Sangu Banyu Sta 72+925

No.	Pondasi	W_p	Satuan
1	Abutment 1	86.86	Ton
2	Abutment 2	92.29	Ton

Tabel 6. Daya Dukung Ultimate (Q_{ult}) pada Underbridge Sangu Banyu Sta 72+925

No.	Pondasi	Q_{ult}	Satuan
1	Abutment 1	1404.55	Ton
2	Abutment 2	1496.52	Ton

Tabel 7. Daya Dukung Izin (Q_{all}) pada Underbridge Sangu Banyu Sta 72+925

No.	Pondasi	Q_{all}	Satuan
1	Abutment 1	561.82	Ton
2	Abutment 2	598.61	Ton

Perhitungan Penurunan Tiang Tunggal

Penurunan tiang yang dihitung adalah penurunan tiang pada tiang tunggal beserta perhitungan penurunan yang diizinkan. Hasil perhitungan penurunan tiang dan kelompok tiang serta penurunan yang diizinkan dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9 berikut.

Tabel 8. Penurunan Tiang (S) dan Penurunan Kelompok Tiang (S_g) pada Underbridge Sangu Banyu Sta 72+925

No.	Pondasi	S	S _g	Satuan
1	Abt. 1	18.00	55.00	mm
2	Abt. 2	18.44	56.34	mm

Tabel 9. Penurunan Izin (S_{izin}) pada Underbridge Sangu Banyu Sta 72+925

No.	Pondasi	S _g	S _{izin} (mm)	Status
1	Abutment 1	55.00	< 120	OK
2	Abutment 2	56.34	< 120	OK

Hasil dan Kesimpulan

Hasil Analisis Manual

Hasil analisis manual kapasitas daya dukung tiang tunggal dan kapasitas izin tiang tunggal pondasi *bored pile* pada *Abutment 1* dan *Abutment 2 Underbridge Sangu Banyu* dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Kapasitas ultimit tiang tunggal dan kapasitas izin tiang tunggal

Titik	Q _{ult} (Ton)	SF	Q _{all} (Ton)
Abt 1	1404.55	2,5	561.82
Abt 2	1496.52		598.61

Perhitungan penurunan tiang yang dilakukan menggunakan metode empiris. Hasil

perhitungan penurunan tiang tunggal dan kelompok pada *Abutment 1* dan *Abutment 2* pada *Underbridge Sangu Banyu* menggunakan metode empiris dapat dilihat pada Tabel 11 berikut.

Tabel 11. Penurunan Tiang Tunggal dan Kelompok

Titik	Kedalaman (m)	S (mm)	S _g (mm)
Abt.1	32	18.0042	55.0037
Abt. 2	34	18.4416	56.3401

Data Hasil PDA dan CAPWAP

Hasil Uji PDA pondasi *bored pile* pada *Abutment 1* dan *Abutment 2 Underbridge Sangu Banyu* dapat dilihat pada Tabel 12 berikut ini.

Tabel 12. Hasil Uji PDA Underbridge Sangu Banyu

Titik Uji	No. Tiang	Daya Dukung (Ton)	Penurunan (mm)
A1	BP.22	934	11
	BP.40	1306	10
	BP.41	1267	9
A2	BP.02	1141	11
	BP.17	1124	10

Sedangkan hasil akhir dari analisa *Case Pile Wave Analysis Program (CAPWAP)* yang merupakan hasil analisis lanjutan dari hasil Uji *Pile Driving Analyzer (PDA)* dapat dilihat pada Tabel 13 berikut.

Tabel 13. Hasil Analisis CAPWAP Underbridge Sangu Banyu

Titik Uji	No. Tiang	Daya Dukung Friksi (Ton)	Daya Dukung Ujung (Ton)	Daya Dukung (Ton)	Penurunan (mm)
A1	BP.22	1469	109	1578	16,8
	BP.40	1074	133	1207	17,4
	BP.41	1229	101	1330	13,6
A2	BP.02	1417	91	1508	16,8
	BP.17	1342	83	1425	16,9

Evaluasi Hasil Analisis Metode Reese dan Wright (1997) dengan Hasil Uji PDA dan CAPWAP

Analisis kapasitas daya dukung pondasi menggunakan rumus Reese dan Wright (1997) telah dilakukan dan data hasil uji *Pile Driving Analyzer* (PDA) serta hasil analisis menggunakan *software Case Pile Wave*

Analysis Program (CAPWAP) juga telah didapatkan. Rekapitulasi dari hasil perhitungan manual dengan data hasil uji *Pile Driving Analyzer* (PDA) serta hasil analisis menggunakan *software Case Pile Wave Analysis Program* (CAPWAP) Perbandingan analisis manual dengan hasil uji PDA dan analisis CAPWAP dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Rekapitulasi daya dukung dan penurunan pondasi pada Underbridge Sangubanyu

Titik Uji	No. Tiang	Daya Dukung (Ton)			Penurunan Tiang (mm)		
		Reese dan Wright (1977)	PDA	CAPWAP	Reese dan Wright (1977)	PDA	CAPWAP
A1	BP.22		934	1469		11	16,8
	BP.40	1404.55	1306	1074	18	10	17,4
	BP.41		1267	1229		9	13,6
A2	BP.02		1141	1417		11	16,8
	BP.17	1496.52	1124	1342	18,4	10	16,9

Berdasarkan analisis secara manual, hasil dari uji *Pile Driving Analyzer* (PDA) dan analisis *Case Pile Wave Analysis Program* (CAPWAP) maka didapatkan evaluasi daya dukung dengan cara menghitung persentase selisih daya dukung analisis menggunakan

metode Reese dan Wright (1997) dengan hasil uji *Pile Driving Analyzer* (PDA) dan analisis *Case Pile Wave Analysis Program* (CAPWAP) yang dapat dilihat pada Tabel 15, Tabel 16, Tabel 17, dan Tabel 18 sebagai berikut.

Tabel 15. Persentase Selisih Hasil Analisis Daya Dukung Metode Reese dan Wright (1997) dengan Hasil Uji PDA *Underbridge* Sangubanyu

Titik Uji	No. Tiang	Reese dan Wright (1977)	Daya Dukung (Ton)		
			PDA	%	% Rata-rata
A1	BP.22		934	-33.50	
	BP.40	1404.55	1306	-7.02	
	BP.41		1267	-9.79	-19.79
A2	BP.02	1496.52	1141	-23.76	
	BP.17		1124	-24.89	

Tabel 16. Persentase Selisih Hasil Analisis Daya Dukung Metode Reese dan Wright dengan Hasil Analisis CAPWAP *Underbridge* Sangubanyu

Titik Uji	No. Tiang	Reese dan Wright (1977)	Daya Dukung (Ton)		
			CAPWAP	%	% Rata-rata
A1	BP.22		1469	4.59	
	BP.40	1404.55	1074	-23.53	
	BP.41		1229	-12.50	-9.42
A2	BP.02	1496.52	1417	-5.31	
	BP.17		1342	-10.33	

Tabel 17. Persentase hasil analisis penurunan tiang metode empiris dengan hasil Uji PDA *Underbridge* Sangubanyu

Titik Uji	No. Tiang	Reese dan Wright (1977)	Penurunan Tiang (mm)		
			PDA	%	% Rata-rata
A1	BP.22		11	-38.90	
	BP.40	18.00	10	-44.46	
	BP.41		9	-50.01	-43.90
A2	BP.02	18.44	11	-40.35	
	BP.17		10	-45.77	

Tabel 18. Persentase Hasil Analisis Penurunan Tiang Metode Empiris dengan Hasil Analisis CAPWAP *Underbridge* Sangubanyu

Titik Uji	No. Tiang	Penurunan Tiang (mm)			
		Reese dan Wright (1977)	CAPWAP	%	% Rata-rata
A1	BP.22		16.8	-6.69	
	BP.40	18.00	17.4	-3.36	
	BP.41		13.6	-24.46	-10.35
A2	BP.02	18.44	16.8	-8.90	
	BP.17		16.9	-8.36	

Kesimpulan

Dari hasil evaluasi perbandingan persentase selisih hasil analisis menggunakan metode Reese dan Wright (1997) dengan hasil uji PDA dan analisis CAPWAP dapat disimpulkan bahwa untuk daya dukung ultimit tiang tunggal (Q_{ult}) hasil pengujian PDA justru memiliki nilai rentang paling kecil dibandingkan dengan metode Reese dan Wright (1997) dengan menggunakan data SPT dan CAPWAP.

Hasil perhitungan persentase selisih daya dukung metode Reese dan Wright (1977) dan Uji PDA adalah sebesar -33,50 %, -7,02 %, -9,79 %, -23,76 %, dan -24,89%. Hasil persentase tersebut menunjukkan bahwa justru terjadi penurunan daya dukung pada seluruh tiang yang diuji dan persentase penurunan rata-ratanya adalah sebesar -19,79%. Hasil perhitungan persentase selisih daya dukung metode Reese dan Wright (1977) dan Analisis CAPWAP adalah sebesar 4,59 %, -23,53 %, -12,50 %, -5,31 %, -10,33 %. Hasil persentase tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar tiang yang diuji masih mengalami penurunan daya dukung dan besar persentase penurunan rata-ratanya adalah sebesar -9,42 %.

Hasil perhitungan persentase selisih penurunan tiang metode empiris dan Uji PDA adalah sebesar -38,90 %, -44,46 %, -50,01 %, -40,35 %, dan -45,77 %. Hasil persentase tersebut menunjukkan bahwa

justru terjadi penurunan besar nilai penurunan tiang pada seluruh tiang yang diuji dan persentase penurunan rata-ratanya adalah sebesar -43,90. Hasil perhitungan persentase selisih penurunan tiang metode empiris dan Analisis CAPWAP adalah sebesar -6,69 %, -3,36 %, -24,46 %, -8,90 %, dan -8,36 %. Hasil persentase tersebut menunjukkan bahwa justru terjadi penurunan besar nilai penurunan tiang pada seluruh tiang yang diuji dan persentase penurunan rata-ratanya adalah sebesar -10,35%.

Dapat disimpulkan bahwa untuk selisih hasil akhir daya dukung yang didapatkan, perbandingan metode Reese dan Wright (1977) dan analisis CAPWAP merupakan perbandingan yang memiliki selisih nilai rata-rata terkecil yaitu -9,42 %. Sedangkan untuk selisih hasil akhir penurunan tiang tunggal, perbandingan metode empiris dan analisis CAPWAP merupakan perbandingan yang memiliki selisih nilai rata-rata terkecil yaitu -10,35 %.

Selisih yang terjadi antara perhitungan rumus dan pengujian lapangan yang menjadi data verifikasi menurut pendapat penulis yang berada di lapangan adalah dikarenakan beberapa faktor, yaitu faktor dari hasil akhir dari proses pembangunan tiang, faktor kondisi lokasi pengujian lapangan, faktor *human error* pada saat pelaksanaan pengujian lapangan maupun saat pengolahan data hasil pengujian lapangan,

dan faktor kondisi serta pemasangan alat pengujian pada saat pengujian berlangsung.

Ucapan Terima Kasih

Dalam penyusunan naskah publikasi ini penulis memberikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. PT. Eskapindo Matra PT. Eskapindo Matra KSO PT. Mitrapacific Consulindo International selaku Konsultan Pengawas dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta – Bawen Seksi 1 Sleman – Banyurejo (Sta 67+500 – 76+300)
2. Bapak Irbinanto Subakti, ST, M.MT., selaku *Resident Engineer* di Konsultan Pengawas PT Eskapindo Matra KSO PT Mitrapacific Consulindo International
3. Bapak Ir. Asiano, selaku pembimbing lapangan
4. Bapak DR. Ir. Edy Purwanto. CES,DEA., selaku *Visiting Specialist (Geotechnic)* di Konsultan Pengawas PT Eskapindo Matra KSO PT Mitrapacific Consulindo International
5. Bapak Ali Shodik, S.T, selaku *Assistant Geotech Engineer* di Konsultan Pengawas PT Eskapindo Matra KSO PT Mitrapacific Consulindo International
6. Ibu Ayu Adrianti, SE, selaku Sekretaris di Konsultan Pengawas PT Eskapindo Matra KSO PT Mitrapacific Consulindo International

Daftar Pustaka

- Abdul, R. (2021). Analisis Daya Dukung Pondasi *Bore Pile* Menggunakan Data Sondir dan SPT pada Proyek Pembangunan Reservoir Sungai Loban. Disertasi. Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari, Banjarmasin.
- Christady, H., dan Hardiyatmo, A. (2011). Analisis dan Perancangan Fondasi I. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Fadilah, U. N., dan Tunafiah, H. (2018). Analisa Daya Dukung Pondasi *Bored Pile* Berdasarkan Data N-SPT Menurut Rumus Reese dan Wright dan

- Penurunan. Jurnal IKRAITH-Teknologi, 2(3), 7-13. Jakarta.
- Hardiyatmo, H. C. (2011). Analisis dan Perancangan Fondasi II. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hudoyo, B. D. (2017). Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Tiang Bor pada Proyek Apartemen Vivo Yogyakarta. Disertasi. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Muthmainnah, M., dan Marzuko, A. (2021). Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang dengan Variansi Dimensi. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Robert, S., dan Sentosa, G. S. (2021). Pengaruh Jarak Antar Tiang Terhadap Efisiensi Daya Dukung Tiang Kelompok Bor. JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil, 441-446. Jakarta.
- Yusti, A., dan Fahriani, F. (2014). Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diverifikasi dengan Hasil Uji *Pile Driving Analyzer Test* dan CAPWAP (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel di Pangkalpinang). Forum Profesional Teknik Sipil (Vol. 2, No. 1, p. 61239). Bangka Belitung University. Bangka Belitung.