

## **ANALISIS PERBANDINGAN DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI BORED PILE MENGGUNAKAN METODE TEORITIS, METODE ELEMEN HINGGA DENGAN UJI TEST PDA (*PILE DRIVING ANALYZER*) (STUDI KASUS PEMBANGUNAN GEDUNG B RUMAH SAKIT MUHAMMADIYAH METRO)**

**Friska Handayani<sup>1</sup>, Fikri Alami<sup>2</sup>, Iswan<sup>3</sup>**

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung<sup>1,2,3</sup>

Email: friskahandayani100@gmail.com<sup>1</sup>, fikrialami@gmail.com<sup>2</sup>, syahiswan72@gmail.com<sup>3</sup>.

### **Abstrak**

Pada umumnya perencanaan suatu bangunan meliputi perencanaan bangunan atas (*upper structure*) dan perencanaan bangunan bawah (*sub structure*). Fondasi merupakan bagian bangunan bawah (*sub structure*) yang berhubungan langsung dengan tanah mempunyai peranan penting memikul seluruh beban bangunan lain di atasnya, maka dari itu perlu dilakukan perhitungan daya dukung serta penurunan yang akan terjadi di dalam perencanaan desain dan juga pengujian setelah pelaksanaan pekerjaan fondasi. Pada pembangunan gedung B RSUD Muhammadiyah menggunakan tipe fondasi *bored pile*. Ditinjau dari penyelidikan jenis tanah, beban struktur, lingkungan sekitar proyek, dan pengujian lapangan dengan test PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan CAPWAP maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung daya dukung dan penurunan fondasi *bored pile* dengan cara *static* (menggunakan prinsip-prinsip mekanika tanah) menggunakan metode teoritis, metode elemen hingga, dan cara (*dynamic*) menggunakan metode experimental dengan uji lapangan test PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan CAPWAP serta dapat menginterpretasikan hasil data PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan CAPWAP. Berdasarkan hasil dari penelitian dapat disimpulkan bahwa dalam perhitungan daya dukung hasil perbandingan selisih terkecil pengujian *static* menggunakan metode L. Decourt terhadap hasil pengujian *dynamic* hasil CAPWAP pada kedua titik uji dengan nilai 4,06% pada titik BH-01 dan -9,29% pada BH-02 dan hasil selisih terkecil pada metode elemen hingga dengan hasil CAPWAP ada pada titik BH-01 yaitu -9,8%. Hasil selisih perbandingan terkecil penurunan adalah menggunakan metode Paulus&Davis terhadap hasil CAPWAP pada BH-01 yaitu -13% dan BH-02 yaitu -23%. Hasil PDA Test pada tiang No.1 terjadi *overstressed* karena nilai CSX lebih tinggi dari tegangan ijin tekan, untuk EMX tiang No.2 melebihi efisiensi hammer yang disarankan, pada laporan hasil CAPWAP tidak terdapat keterangan dari CAPWAP *match quality* dan terdapat data yang belum lengkap diberikan dalam laporan, seperti persentase kerusakan fondasi (BTA) dan tinggi jatuh *hammer test* (STK).

**Kata kunci:** *Bored Pile*; Daya Dukung dan Penurunan; PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan CAPWAP

### **Abstract**

*In general, the planning of a building includes the planning of the upper building (upper structure) and the planning of the lower building (sub structure). The foundation is the part of the sub-structure that is directly related to the ground and has an important role in carrying all the loads of other buildings on it, therefore it is necessary to calculate the carrying capacity and settlement that will occur in the design planning and testing after the foundation work is carried out. In the construction of building B Muhammadiyah Hospital using the foundation type bored pile. Judging from the investigation of soil types, structural loads, the environment around the project, and field testing with PDA (*Pile Driving Analyzer*) and CAPWAP tests, the purpose of this research is to calculate the bearing capacity and settlement of foundations bored pile in away static (using the principles of mechanics). soil) using the theoretical method, the finite element method, and the (dynamic) method using the experimental method with field tests of PDA (*Pile Driving Analyzer*) and CAPWAP tests and can interpret the results of PDA (*Pile Driving Analyzer*) and CAPWAP data. Based on the results of the study, it can be concluded that in calculating the carrying capacity of the results of the comparison of the smallest difference in testing static using the L. Decourt method on the results of testing dynamic of CAPWAP results at both test points with a value of 4.06% at point BH-01 and -9.29% at point BH-01 and -9.29% at BH-02 and the smallest difference between the finite element method and the CAPWAP result is at point BH-01, which is -9.8%. The result of the smallest difference in the reduction ratio is using the Paulus & Davis method on the results of CAPWAP on BH-01 which is -13% and BH-02 which is -23%. The results of the PDA Test on the No.1 pile were overstressed because the CSX value was higher than the allowable compressive stress, for the No.2 pile EMX exceeded the recommended hammer efficiency, in the CAPWAP report there was no information from the CAPWAP match quality and there were incomplete data provided in the report, such as the percentage of foundation damage (BTA) and drop height hammer (STK).*

**Keywords:** *Bored Pile, Bearing Capacity and Settlement, PDA (*Pile Driving Analyzer*) and CAPWAP*

### **Pendahuluan**

Akan menjadi sangat penting untuk melakukan pengujian daya dukung dan penurunan fondasi dikarenakan jika sebuah fondasi mengalami kegagalan maka akan terjadi kerusakan total pada bangunan tersebut terutama untuk bangunan bertingkat yang akan sangatlah berbahaya dan merugikan. Tidak lupa mengingat dari fungsi bangunan rumah sakit yang sangat penting sebagai salah satu sarana dan prasarana kesehatan yang memberikan pelayanan kesehatan kepada masyarakat. Pada pembangunan Gedung B RSU Muhammadiyah Metro melakukan pengujian lapangan dengan menggunakan test PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan dianalisis kembali dengan *software* CAPWAP. Namun apakah pengujian di lapangan dengan test PDA dan CAPWAP ini sudah cukup dan dapat meyakinkan untuk mengetahui kekuatan daya dukung dan penurunan. Maka dari itu perlu dilakukan analisis perbandingan dengan menggunakan metode lain untuk mengetahui

bagaimana keakuratan pengujian menggunakan test PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan CAPWAP.

Penelitian ini akan menganalisis perhitungan daya dukung dan penurunan fondasi pada pembangunan Gedung B RSUD Muhammadiyah Metro. Menghitung daya dukung dan penurunan fondasi *bored pile* menggunakan pengujian *static* dari hasil data *Standart Penetration Test* (SPT), *Cone Penetration Test* (CPT) dengan metode teori dan data laboratorium dengan metode elemen hingga. Kemudian menginterpretasikan hasil dari uji PDA dan CAPWAP. Dengan Batasan masalah yaitu dilakukan pada pembangunan Gedung B RSUD Muhammadiyah Metro, perhitungan menganalisis daya dukung fondasi *bored pile* tiang tunggal. Perhitungan daya dukung menggunakan metode *Briaud, et al, Meyerhoff, L. Decourt* dari hasil SPT dan menggunakan metode *Mayerhoff, Philipponant, Andina* dari hasil CPT. Pada perhitungan gaya aksial menggunakan aplikasi ETABS V.18 menggunakan beban hidup (*Dead Load*), beban mati (*Live Load*), beban gempa (*Earthquake Load*). Pada perhitungan elemen hingga menggunakan beban statis.

Dalam penelitian ini diharapkan dapat memilih alternatif metode untuk mencari nilai daya dukung dan penurunan pada fondasi *bored pile* dengan berbagai variasi data antara menggunakan cara pengujian *static* dan dibandingkan dengan pengujian *dynamic*. Dapat memberikan pemahaman mengenai kapasitas daya dukung dan penurunan tiang pancang baik secara teori maupun program metode elemen hingga dan test PDA serta hasil CAPWAP.

Penelitian yang pernah dilakukan oleh ([Santoso & Hartono, 2020](#)). Daya dukung rerata hasil uji PDA sebesar 432,4ton atau lebih besar 0,4% bila dibandingkan daya dukung rerata hasil pendekatan empiris (430,7 ton). Penelitian ini tidak melihat masing-masing metode yang digunakan, hanya merata-ratakan dari metode teori dibandingkan dengan hasil uji PDA dan CAPWAP ([Yani, 2021](#)). Sedangkan penelitian fondasi *bore pile* juga dilakukan oleh ([Hardianti, Kasmuri, & Rosyad, 2020](#)). Berdasarkan data Sondir nilai daya dukung ultimit diameter 60 cm pada titik S-2 adalah 416,3ton. SPT nilai daya dukung tiang tunggal pada Bore Hole II diameter 60 cm sebesar 275,20 ton. Penurunan Poulos dan Davis yang dihasilkan 13,79 mm sedangkan dengan penurunan elastis sebesar 11,50 mm. Analisis pada penelitian ini tidak menyimpulkan metode mana yang mendekati perhitungannya satu dengan yang lainnya dan persentase selisih beberapa metode yang digunakan. Penelitian lain dilakukan oleh ([Indryana, 2014](#)). Metode Meyerhoff diameter 60 cm memiliki daya dukung ultimit sebesar 2600,9667 kN, PDA Test kapasitas dukung ultimit sebesar 3792 kN. Hasil aman hanya dilihat dari hasil daya dukung yang tidak melebihi daya dukung batas saja, belum dilakukan kontrol terhadap pembagian beban pada masing-masing tiang dan dengan daya dukung yang diijinkan. Kemudian penelitian oleh ([Simanjuntak & Suita, 2017](#)). Berdasarkan hasil CAPWAP untuk uji PDA daya dukung tertinggi 177ton dan daya dukung terendah 111ton lebih besar dari rencana daya dukung tiang 60,9 ton. Perbandingan ini hanya dengan pengujian *dynamic* dengan Qu. Penelitian lainnya dilakukan oleh ([Rozeli, 2020](#)). Hasil dari penelitian ini didapatkan perbandingan hasil daya dukung tiang pancang dengan hasil PDA adalah 84,4 ton, hasil HJS adalah 78,65 ton, dan hasil metode Schmertmann 102,33

## Analisis Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi *Bored Pile* Menggunakan Metode Teoritis, Metode Elemen Hingga dengan Uji Test PDA (*Pile Driving Analyzer*) (Studi Kasus Pembangunan Gedung B Rumah Sakit Muhammadiyah Metro)

ton, Philipponant 54,89 ton, dan Andina 82,86 ton. Dari hasil penelitian sebelumnya ini penulis ingin menjelaskan dan melengkapi hasil analisa pada daya dukung dan penurunan fondasi *bored pile* dengan membandingkan pengujian *satic* dengan pengujian *dynamic*.

Perhitungan daya dukung dan penurunan mempunyai faktor aman dan penurunan ijin sebagai kontrol terhadap hasil yang didapatkan. Dimana menurut (Tomlinson, 1977), dalam buku Analisis dan Perencanaan Fondasi 2 untuk tiang tanpa pembesaran di bagian bawahnya adalah 2. Penurunan tiang tunggal ijin dalam jurnal (Azizi, Salim, & Ramadhon, 2020),  $S < S_{ijin}$ , dimana  $S_{ijin}$  yaitu  $10\%D$ ,  $D$  adalah diameter fondasi. Berdasarkan (SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Goeteknik) pasal 9.2.4.3. Penurunan total ijin  $< 15 \text{ cm} + b/600$  ( $b$  dalam satuan cm) untuk bangunan tinggi dan bisa dibuktikan struktur atas masih aman.

Menurut (Nji, 2012), PDA (*Pile Driving Analyze*) merupakan pengujian dilapangan untuk mendapatkan data *force* ( $F$ ) dan *velocity* ( $v$ ) pada fondasi dalam, seperti tiang pancang dan *bored pile*, yang kemudian akan dianalisis lebih lanjut dengan komputasi. Selanjutnya kapasitas dukung tiang adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban (Satria, Fatnanta, & Nugroho, 2020). Elemen hingga merupakan suatu cara untuk menyelesaikan permasalahan *engineering* dengan cara membagi objek analisa menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga. dengan jumlah hingga (*finite*). Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing* (PUSTEK, 2021). Plaxis adalah sebuah paket program yang disusun berdasarkan metode elemen hingga yang telah dikembangkan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas dalam bidang Geoteknik (Plaxis, 2021).

### Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan penelitian deskriptif yaitu penelitian yang dilakukan terfokus pada suatu kasus tertentu untuk diamati dan dianalisis secara cermat sampai tuntas studi literatur yang didapatkan dari berbagai acuan referensi baik berupa data kualitatif ataupun kuantitatif. Penelitian ini menggunakan penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif bertujuan untuk menjawab masalah penelitian yang berkaitan dengan data berupa angka dan program statistik (Wahidmurni, 2017).

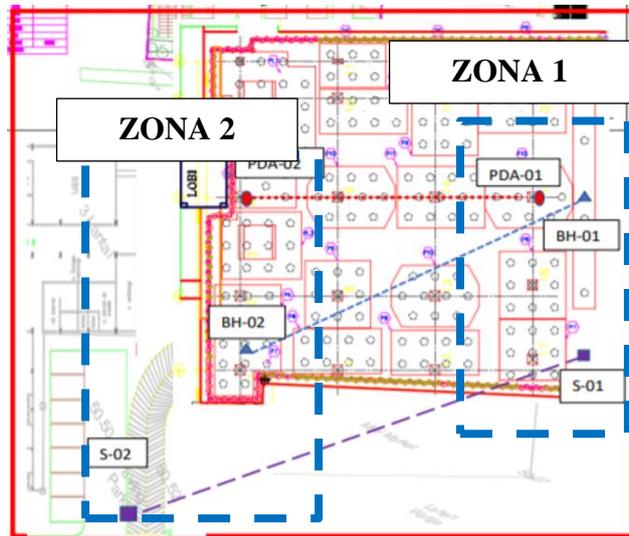
### Data Penelitian

Data-data yang ada diambil dari proyek pembangunan gedung B RSUD Muhammadiyah Metro berupa data penyelidikan tanah data SPT, CPT, *shop drawing*, data hasil PDA test CAPWAP.

### Metode Analisis

- a. Analisis pembebanan dengan ETABS v.18 dengan menggunakan SNI 1727-2020 (Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain) dan SNI 1726-2019. 2019 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung).
- b. Menghitung kapasitas daya dukung desain dan penurunan dengan menggunakan metode teoritis menggunakan data lapangan yang terdiri:
  1. *Standard Penetration Test* (SPT)

2. Cone Penetration Test (CPT)
3. Laboratorium
- c. Menghitung kapasitas daya dukung dengan, menggunakan metode elemen hingga.
- d. Menginterpretasikan hasil metode experimental menggunakan data PDA Test d.



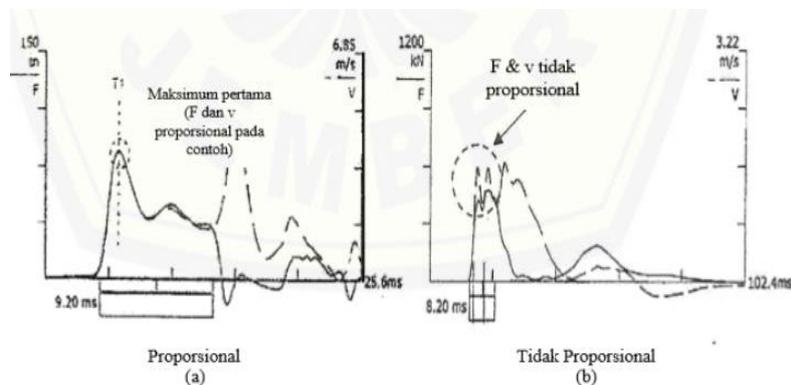
Gambar 1. Letak titik uji SPT, sondir, dan PDA.

Penelitian ini akan membagi bagian untuk menganalisis data yang digunakan sebagai pembandingan dan parameter yang dipakai dengan pertimbangan data terdekat yang mendekati titik uji PDA untuk mencari pendekatan dari semua parameter yang digunakan. Dimana ZONA 1 adalah perbandingan PDA-01, BH-01, dan S-01, kemudian ZONA 2 adalah perbandingan PDA-02, BH-02, dan S-02.

## Hasil dan Pembahasan

### Interpretasi Hasil PDA dan CAPWAP

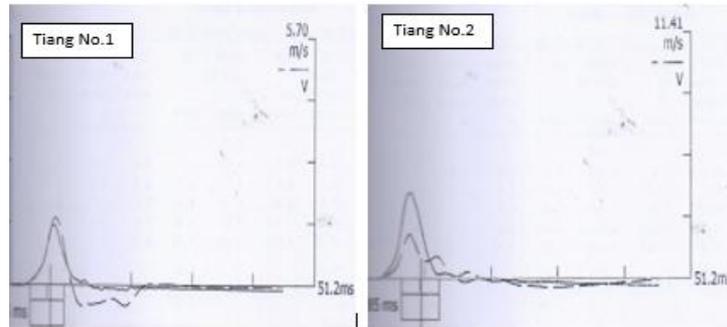
Pada buku *Interpretation of HSDPT, Work Instructions for Engineers (G&P Geotechnics SDN BHD, 2019)*, menjelaskan bahwa hasil kurva PDA butuh untuk dikonfirmasi atau dikoreksi bahwa data tersebut baik atau tidak.



Gambar 2. Contoh kurva hasil uji PDA.

Analisis Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi *Bored Pile* Menggunakan Metode Teoritis, Metode Elemen Hingga dengan Uji Test PDA (*Pile Driving Analyzer*) (Studi Kasus Pembangunan Gedung B Rumah Sakit Muhammadiyah Metro)

Sumber: Interpretation of HSDPT, Work Instructions for Engineers (G&P Geotechnics SDN BHD, 2019)



Gambar 3. Grafik antaran F dan V pada tiang No.1 dan tiang No.2.

Dari gambar 3, menunjukkan bahwa bentuk grafik termasuk kedalam tipe grafik *good proportionality* antara F dan V pada tiang No.1 dan *not proporsionalitiy pada tiang* No.2. Data hasil PDA dapat menghitung CSX (*Maximum Compressive Stress*) dan TSX (*Maximum Tensile Stress*) hasil ini dapat di *compare* dengan tegangan ijin tarik dan tekan. Jika nilai CSX dan TSX lebih tinggi dari tegangan ijin Tarik dan tekan, maka akan terjadi kelebihan tegangan (*overstressed*).

Diketahui:

fc':30 Mpa

Fy: 420 Mpa

$$As: 8D22 = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times (22)^2}{4} = 0,0004 \text{ m}^2 \times 8 = 3039,5 \text{ mm}^2$$

$$Ac: \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times (600)^2}{4} = 282600 \text{ mm}^2$$

$$\text{Teg. Tekan ijin} = 0,85 \times 30 = 25,5 \text{ Mpa}$$

$$\text{Teg. Tarik ijin} = 0,70 \times 420 \times (3039,5/282600) = 3,1 \text{ Mpa}$$

Tabel 1. Hasil CSX dan TSX PDA

No.	Tiang	CSX	TSX
1.	Tiang No.1	12,6	3,1
2.	Tiang No.2	36,1	3,4

Dari tabel dan perhitungan tegangan ijin maka pada tiang No.1 terjadi *overstressed* karena nilai CSX lebih tinggi dari tegangan ijin tekan.

Energi Pukulan (*Energy Transfer*)

Hammer yang mengirimkan energi ke fondasi. Jumlah tranfer energi menurut *Interpretation of HSDPT, Work Instructions for Engineers (G&P Geotechnics SDN BHD, 2019)*.

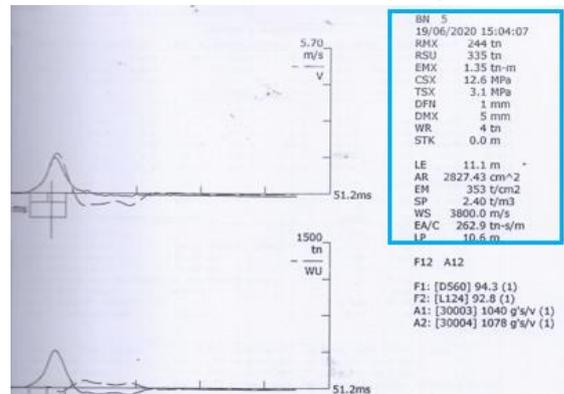
$$\text{Work} = \text{Force} \times \text{Distance} = \text{Hammer Weight} \times \text{Drop Height}$$

EMX pada PDA yaitu (*weight x drop*). Dengan efisiensi persentase ada yang disarankan oleh PDI.

Work Tiang No.1 =  $3,5 \times 1,5 = 5,25$ ,  $EMX = 1,35 = 25,71 \%$

Work Tiang No.2 =  $3,5 \times 1,5 = 5,25$ ,  $EMX = 5,93 = 112 \%$

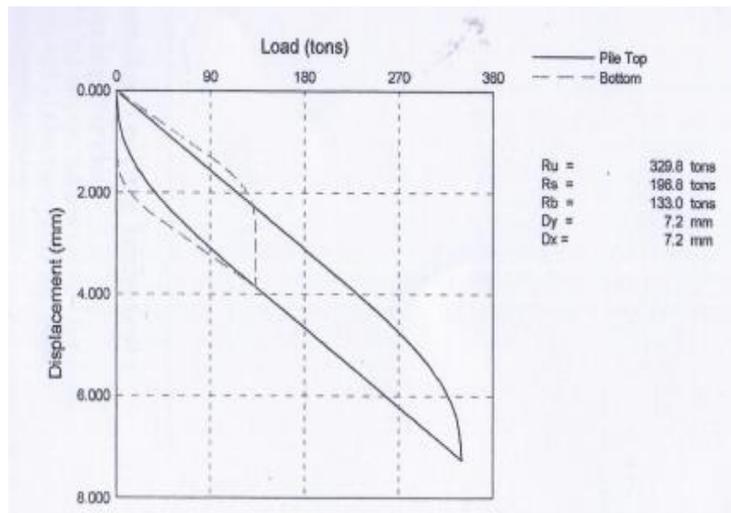
Untuk EMX tiang No.2 melebihi efisiensi hammer yang disarankan.



Gambar 4. Grafik hasil PDATest.

Hasil pengujian selanjutnya dianalisis lebih lanjut menggunakan program CAPWAP menurut (Fellenius, 1988) dalam proceedingnya mengatakan bahwa hasil perhitungan CAPWAP yang dilakukan oleh satu orang dengan orang lain tidaklah akan serupa analisis ini membutuhkan pendidikan dalam aspek mekanika tanah dan juga dalam praktek pemasangan alat instrument pada PDA test. Untuk memperoleh besarnya daya dukung tiang, distribusi kekuatan di setiap lapisan dan ujung tiang, tegangan tiang, kurva beban vs penurunan. CAPWAP adalah untuk pencocokan dari perhitungan gaya dengan *software* dengan grafik gelombang di lapangan. Menurut (Vaidya, 2006) data gaya dan kecepatan terukur langsung diinput dari PDA. Berdasarkan data kecepatan yang diukur, program menghitung gaya yang diperlukan untuk menginduksi kecepatan yang dipaksakan. Selanjutnya dari gambar grafik hubungan *load* dan *displacement* diketahui nilai  $R_u$  (daya dukung total),  $R_s$  (daya dukung friksi tiang), dan  $R_b$  (daya dukung ujung tiang), disajikan juga pada tabel CAPWAP *Summary Results* seperti pada gambar diatas. Dan nilai  $D_x$  dan  $D_y$  yaitu penurunan pada saat  $R_u$  maksimum.

Analisis Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi *Bored Pile* Menggunakan Metode Teoritis, Metode Elemen Hingga dengan Uji Test PDA (*Pile Driving Analyzer*) (Studi Kasus Pembangunan Gedung B Rumah Sakit Muhammadiyah Metro)



Gambar 5. Grafik hubungan *load* dan *displacement*.

Pembangunan Gedung B RSU Muhammadiyah Metro; File: No.1 Test: 19-Jun-2020 15:04:  
 Bored 60cm; Blow: 5 CAPWAP (R) 2006-3  
 PT Paduan Dinamika Testing Indonesia OF: BRI

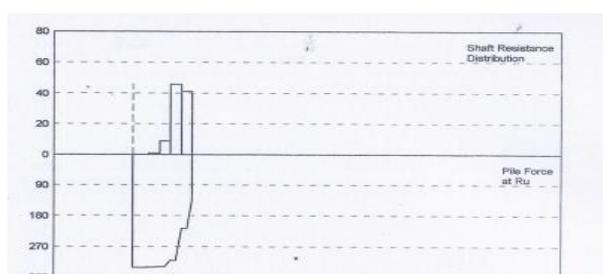
CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 329.8; along Shaft 196.8; at Toe 133.0 tons

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru tons	Force at Ru tons	Sum of Ru tons	Unit Resist. (Depth) tons/m	Unit Resist. (Area) tons/m <sup>2</sup>	Smith Damping Factor	Quake mm
1	3.0	2.5	0.3	329.6	0.3	0.10	0.05	0.466	4.464
2	5.0	4.5	2.0	327.6	2.3	0.99	0.53	0.467	4.301
3	7.1	6.6	18.2	309.4	20.5	9.02	4.79	0.466	3.868
4	9.1	8.6	92.8	216.6	113.3	45.99	24.40	0.466	2.874
5	11.1	10.6	93.5	133.0	196.8	41.38	21.95	0.466	2.872
Avg. Shaft				39.4		18.57	9.85	0.466	2.982
Toe			Rb	133.0				470.53	1.053
									1.916

Soil Model Parameters Extensions Shaft Toe

Gambar 6. Gambar tabel CAPWAP *summary results*.



Gambar 1. Grafik daya dukung tiang dan *shaft resistance distribution*.

Selanjutnya grafik daya dukung tiang dan *shaft resistance distribution* adalah bagian atas nilai *unit resistance* (tons/m) ada juga pada tabel. Dan bagian bawah adalah resultan gaya tiang. Pada laporan hasil CAPWAP tidak terdapat keterangan dari CAPWAP *match quality* dan terdapat data yang belum lengkap diberikan dalam laporan, seperti persentase kerusakan fondasi (BTA) dan tinggi jatuh hammer test (STK).

### Daya Dukung Tiang

Hasil perhitungan berdasarkan metode teori, menggunakan data sondir tidak dapat digunakan sebagai pembandingan dikarenakan data penyelidikan tanah yang tidak mencapai kedalaman yang diinginkan yaitu hanya S-01 pada kedalaman 2,4m dan S-02 pada kedalaman 3,2m, hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.31. dan Tabel 4.32. dibawah ini:

Tabel 2. Hasil Perhitungan Qu Data Sondir dan Data Laboratorium BH-01.

No.	Metode	Qu	SF	Qall
1.	Teoritis			
	Metode Mayerhoff Sondir	469,65	2	234,825
	Metode Philipponant	121,75	2	60,875
	Metode Andina	472,23	2	236,115

Tabel 3. Hasil Perhitungan Qu Data Sondir dan Data Laboratorium BH-02.

No.	Metode	Qu	SF	Qall
1.	Teoritis			
	Metode Mayerhoff Sondir	464,94	2	232,47
	Metode Philipponant	121,51	2	60,755
	Metode Andina	467,98	2	233,99

Dari hasil data PDA dan CAPWAP yang digunakan atau dipakai didalam kesimpulan dan yang digunakan adalah hasil CAPWAP karena data yang telah dianalisis lebih lanjut dan lebih detail dari data hasil lapangan atau data PDA.

Hasil perhitungan daya dukung fondasi dengan metode teori dengan data N-SPT, dan hasil PDA akan disajikan pada tabel pada Tabel 4.33. dan Tabel 4.34. dibawah ini.

Tabel 4. Hasil Daya Dukung Metode Teori Terhadap Hasil PDA Titik BH-01.

No.	PDA	Nilai Qult		Selisih Qu	Persentase Selisih Qu
	BH-01 (ton)	Teori N-SPT (ton)			
1.	244	Metode Briaud, et al	299,751	55,751	22,85%
2.		Metode Mayerhoff SPT	314,780	70,780	29,01%
3.		Metode L. Decourt	343,200	99,200	40,66%

Tabel 5. Hasil Daya Dukung Metode Teori Terhadap Hasil PDA Titik BH-02.

No.	PDA	Nilai Qult		Selisih Qu	Persentase Selisih Qu
	BH-02 (ton)	Teori N-SPT (ton)			
1.	290	Metode Briaud, et al	294,372	4,372	1,51%
2.		Metode Mayerhoff SPT	313,838	23,838	8,22%
3.		Metode L. Decourt	360,192	70,192	24,20%

Dari hasil perbandingan persentase selisih pada tabel 4.41 dan tabel 4.42 untuk daya dukung ultimit (Qult) menggunakan data N-SPT, memiliki selisih terkecil dengan hasil pengujian PDA yaitu metode ([Fellenius, 1988](#)), pada titik BH-01 dan BH-02, yaitu 22,85% untuk titik uji BH-01, dan 1,51% untuk titik uji BH-02. Sedangkan untuk metode

Analisis Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi *Bored Pile* Menggunakan Metode Teoritis, Metode Elemen Hingga dengan Uji Test PDA (*Pile Driving Analyzer*) (Studi Kasus Pembangunan Gedung B Rumah Sakit Muhammadiyah Metro)

L. Decourt (1989) mempunyai selisih terbesar dengan hasil PDA yaitu pada titik BH-01 sebesar 40,66%, dan pada titik BH-02 adalah 24,20%.

Hal tersebut dapat dikarenakan pada metode Briaud, et al (1985) menggunakan sedikit parameter luar yang diperhitungkan dalam metode ini. Sehingga perhitungan metode Briaud, et al (1985) menghasilkan nilai lebih kecil dan dengan memperhatikan kesamaan hasil dengan selisih terkecil dari kedua titik uji dengan PDA, maka dapat disarankan untuk digunakan metode Briaud, et al (1985) dalam perhitungan daya dukung menggunakan data N-SPT yang dibandingkan dengan hasil PDA Test.

Tabel 6. Hasil Daya Dukung Metode Teori Terhadap Hasil CAPWAP Titik BH-01.

No.	CAPWAP	Nilai Qult		Selisih Qu	Persentase Selisih Qu
	BH-01 (ton)	Teori N-SPT (ton)			
1.	329,8	Metode Briaud, et al	299,751	-30,049	-9,11%
2.		Metode Mayerhoff SPT	314,780	-15,020	-4,55%
3.		Metode L. Decourt	343,200	13,400	4,06%

Tabel 7. Hasil Daya Dukung Metode Teori Terhadap Hasil CAPWAP Titik BH-02.

No.	CAPWAP	Nilai Qult		Selisih Qu	Persentase Selisih Qu
	BH-02 (ton)	Teori N-SPT (ton)			
1.	397,1	Metode Briaud, et al	294,372	-102,728	-25,87%
2.		Metode Mayerhoff SPT	313,838	-83,262	-20,97%
3.		Metode L. Decourt	360,192	-36,908	-9,29%

Hasil L.Decourt juga mempunyai parameter yang lebih banyak seperti keefisien tanah dan tegangan referensi, dalam hal ini metode ini dengan tahun termuda dari ketiga metode yang digunakan, dan dikembangkannya teori daya dukung untuk memperkecil selisih dan menghasilkan pendekatan daya dukung dengan metode lainnya. Kemudian hasil yang dipertimbangkan dari PDA test adalah hasil akhir yaitu dengan *software* CAPWAP, karena hasil CAPWAP adalah hasil dari PDA yang diproses lanjut dengan *signal matching analisis (SMA)* sehingga diperoleh hasil yang lebih detail dan akurat. Hasil tersebut dapat dibuktikan dengan mempertimbangkan beberapa hal yaitu, hasil metode teori titik BH-01 mempunyai selisih CAPWAP lebih kecil dari pada hasil banding dengan PDA. Sedangkan hasil CAPWAP pada titik BH-02, mempunyai selisih lebih besar ini dapat dipertimbangkan karena beda jauh titik uji PDA, dengan penyelidikan tanah BH-02 yaitu sekitar 12m, lebih jauh jika dibandingkan dengan titik BH-01 dengan uji PDA hanya berkisar jarak 2m dapat dilihat pada gambar 2 letak titik pengujian. Maka selain pemilihan metode teori yang digunakan juga dipertimbangkan letak banding titik uji dari parameter yang digunakan untuk menghitung daya dukung akan mempengaruhi hasil,

karena jarak yang terlalu jauh akan kurang akurat dalam menjelaskan keadaan tanah yang sesuai pada titik pengujian PDA di lapangan. Maka hasil pada Zona 1 (PDA-01, BH-01, S-01) lebih akurat dan mempunyai selisih lebih kecil, jika dibandingkan dengan Zona 2 (PDA-02, BH-02, S-02) pada gambar 2.

Hasil perbandingan daya dukung selimut (*friction*) dan daya dukung ujung (*end bearing*) CAPWAP dengan metode teori akan menjelaskan metode mana yang akan disarankan jika ditinjau dari hasil pembagian daya dukung yaitu selimut (*friction*) dan daya dukung ujung (*end bearing*).

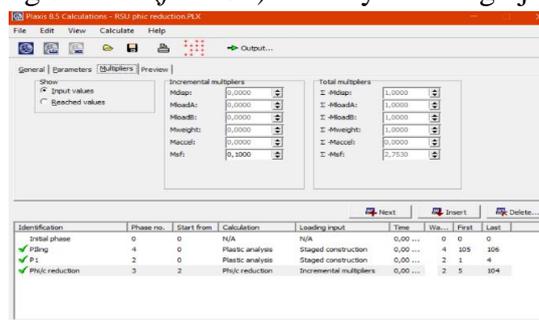
Tabel 8. Rasio Daya Dukung Selimut Dan Ujung Rata-Rata BH-01.

No.	Metode	Daya Dukung Tahanan (Ton)		Rasio	
		Selimut ( <i>friction</i> ) Qs	Ujung ( <i>End Bearing</i> ) Qp	% QP	%QS
1.	Teori				
	Metode Briaud, et al	110,27	189,48	-43,97%	42,46%
	Metode Mayerhoff N-SPT	258,24	56,54	31,22%	-57,49%
	Metode L. Decourt	190,54	152,66	-3,18%	14,78%
2.	CAPWAP	196,80	133,00		

Tabel 9. Rasio Daya Dukung Selimut Dan Ujung Rata-Rata BH-02.

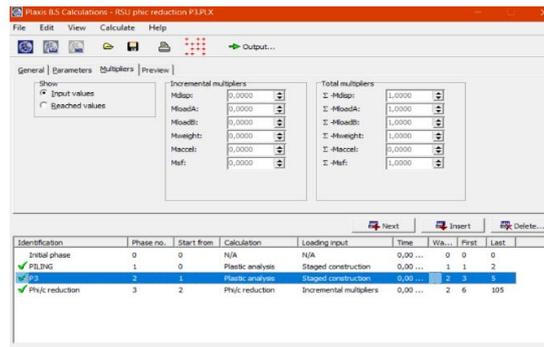
No.	Metode	Daya Dukung Tahanan (Ton)		Rasio	
		Selimut ( <i>friction</i> ) Qs	Ujung ( <i>End Bearing</i> ) Qp	% QP	%QS
1.	Teori				
	Metode Briaud, et al	110,74	183,63	-53,08%	14,06%
	Metode Mayerhoff N-SPT	262,01	51,83	11,02%	-67,81%
	Metode L. Decourt	190,57	169,62	-19,25%	5,35%
2.	CAPWAP	236,00	161,00		

Hasil selisih rasio daya dukung selimut (*friction*) dan daya dukung ujung (*end bearing*) CAPWAP dengan metode teori hasil terkecil adalah dengan menggunakan metode L. Decourt (1989). Hasil tersebut membuktikan bahwa pembagian daya dukung selimut (*friction*) dan daya dukung ujung (*end bearing*) juga mempunyai selisih terkecil jika menggunakan metode L. Decourt (1989). Pada BH-01 yaitu Qp = -3,18% dan Qs = 14,78% kemudian BH-02 yaitu Qp = -19,25% dan Qs = 5,35%. Dari hasil tersebut menguatkan bahwa metode L. Decourt (1989) juga disarankan sebagai referensi jika ditinjau dari daya dukung selimut (*friction*) dan daya dukung ujung (*end bearing*).



Gambar 8. Hasil output  $\Sigma$  -Msf plaxis BH-01 P1.

Analisis Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi *Bored Pile* Menggunakan Metode Teoritis, Metode Elemen Hingga dengan Uji Test PDA (*Pile Driving Analyzer*) (Studi Kasus Pembangunan Gedung B Rumah Sakit Muhammadiyah Metro)



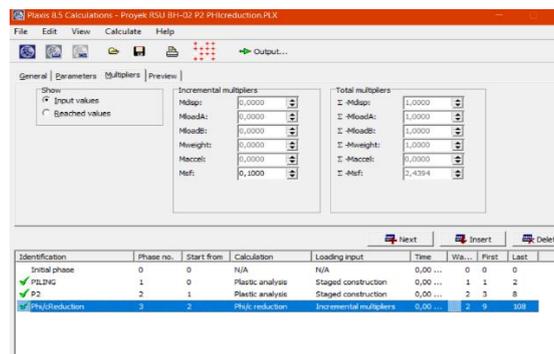
Gambar 9. Hasil *output*  $\Sigma$  -Msf plaxis BH-01 P3.

Nilai  $\Sigma$  -Msf P1 sebesar 2,7530 Qu titik BH-01 adalah

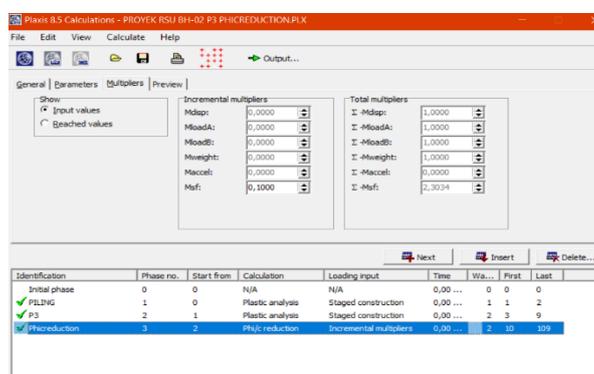
$$\begin{aligned} Q_u &= \Sigma \text{-Msf} \times P_{all} \\ &= 2,7530 \times 900,49 \\ &= 2749,049 \text{ kN} = 274,9049 \text{ ton} \end{aligned}$$

Nilai  $\Sigma$  -Msf P3 sebesar 2,6060 Qu titik BH-01 adalah

$$\begin{aligned} Q_u &= \Sigma \text{-Msf} \times P_{all} \\ &= 2,6060 \times 1142,2 \\ &= 2976,052 \text{ kN} = 297,605 \text{ ton} \end{aligned}$$



Gambar 10. Hasil *output*  $\Sigma$  -Msf plaxis BH-02 P2.



Gambar 21. Hasil *output*  $\Sigma$  -Msf plaxis BH-02 P3.

Nilai  $\Sigma$  -Msf P2 sebesar 2,4394 Qu titik BH-02 adalah

$$\begin{aligned}
 Q_u &= \Sigma -M_{sf} \times P_{all} \\
 &= 2,4394 \times 904,80 \\
 &= 2490,9144 \text{ kN} = 249,091 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Nilai  $\Sigma -M_{sf}$  P3 sebesar 2,3034  $Q_u$  titik BH-02 adalah

$$\begin{aligned}
 Q_u &= \Sigma -M_{sf} \times P_{all} \\
 &= 2,3034 \times 1142,2 = 2642,365 \text{ kN} \\
 &= 264,2365 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Tabel 10. Hasil Daya Dukung Metode Elemen Hingga Terhadap Hasil PDA Titik BH-01.

No.	PDA	Nilai Qult		Selisih Qult	Persentase Selisih Qult
	BH-01 (ton)	Elemen Hingga (ton)			
1.	244	P1	247,905	3,905	1,60%
2.		P3	297,605		

Tabel 11. Hasil Daya Dukung Metode Elemen Hingga Terhadap Hasil PDA Titik BH-02.

No.	PDA	Nilai Qult		Selisih Qult	Persentase Selisih Qult
	BH-02 (ton)	Elemen Hingga (ton)			
1.	290	P2	249,09	-40,909	-14,11%
2.		P3	264,237		

Tabel 12. Hasil Daya Dukung Metode Elemen Hingga Terhadap Hasil CAPWAP Titik BH-01.

No.	CAPWAP	Nilai Qult		Selisih Qult	Persentase Selisih Qult
	BH-01 (ton)	Elemen Hingga (ton)			
1.	329,8	P1	247,905	-81,895	-24,8%
2.		P3	297,605		

Tabel 13. Hasil Daya Dukung Metode Elemen Hingga Terhadap Hasil CAPWAP Titik BH-02.

No.	CAPWAP	Nilai Qult		Selisih Qult	Persentase Selisih Qult
	BH-02 (ton)	Elemen Hingga (ton)			
1.	397,1	P2	249,09	-148,009	-37,27%
2.		P3	264,237		

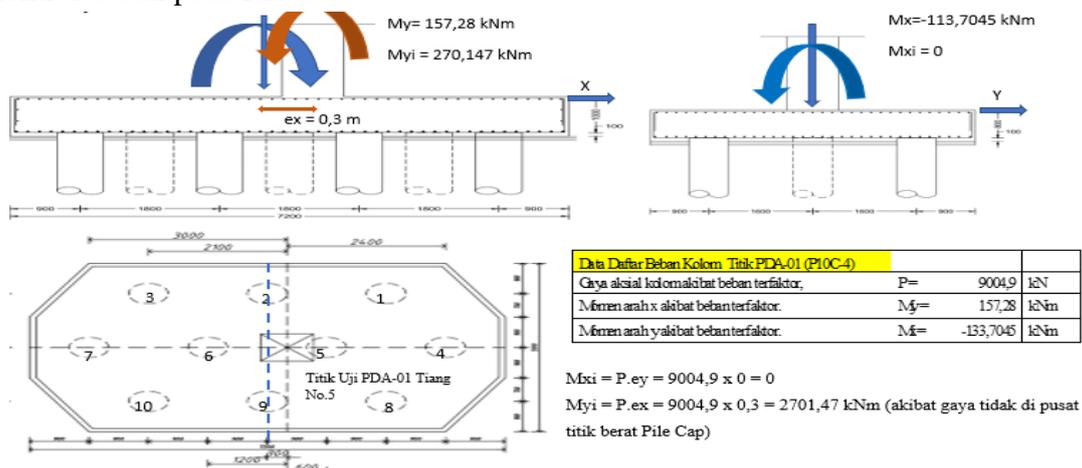
Daya dukung ultimit (Qult) fondasi yang dihitung menggunakan elemen hingga program Plaxis akan dibandingkan dengan hasil PDA dan CAPWAP sebagai pembanding dan validasi hasil metode teori apakah terdapat kesamaan pola hasil perhitungan. Maka didapatkan hasil Qult pada metode elemen hingga mempunyai persentase selisih terkecil pada PDA-01 dan CAPWAP-01, pada beban P1 PDA-01 adalah 1,60% dan CAPWAP mempunyai selisih -25,8% lebih kecil jika dibandingkan dengan beban P2 PDA-02 - 14,11% dan CAPWAP mempunyai selisih -37,27% dan hasil selisih P3 pada kedua titik uji dengan beban aksial terbesar mempunyai selisih yang tidak jauh berbeda sebagai pembanding. Jadi hasil elemen hingga juga menjelaskan bahwa parameter yang digunakan akan mempunyai selisih lebih kecil akibat titik uji pada parameter yang digunakan saling berdekatan seperti Zona 1. Kemudian hasil elemen hingga didapatkan dari hasil grafik tegangan *Load Transfer* diketahui bahwa benar konsep *transfer* beban akan

Analisis Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi *Bored Pile* Menggunakan Metode Teoritis, Metode Elemen Hingga dengan Uji Test PDA (*Pile Driving Analyzer*) (Studi Kasus Pembangunan Gedung B Rumah Sakit Muhammadiyah Metro)

termobilisasi selimut bagian atas terlebih dahulu, sampai selimut lebih dalam hingga bagian ujung tiang bekerja.

Selanjutnya hasil daya dukung ultimit (Qult) atau daya dukung batas pada metode teori akan dihitung menjadi daya dukung ijin (Qall), untuk menghitung daya dukung tiang apakah aman terhadap kontrol beban terbesar pada setiap titik uji, dan kontrol beban pada titik uji fondasi itu sendiri.

Kontrol beban pada P10C-4

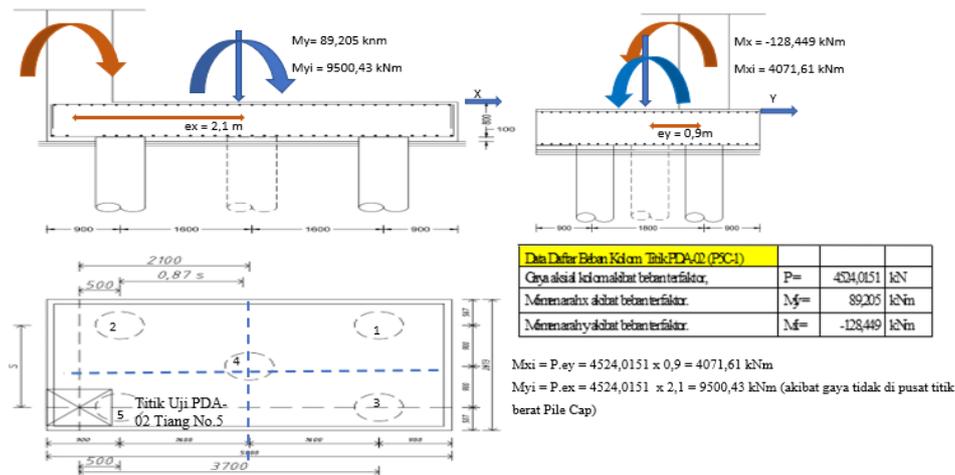


Gambar 12. Tipe susunan tiang P10C-4.

Tabel 14. Hasil distribusi beban tiang setelah adanya Myi, dan Mxi (P10-C4)

No.	xi (m)	yi (m)	x2 (m)	y2 (m)	n (y)	n (x)	q (kN)
1	1,8	1,6	3,24	2,56	2	3	993,366
2	0	1,6	0	2,56	2	3	905,133
3	-1,8	1,6	3,24	2,56	2	3	816,899
4	2,7	0	7,29	0	1	4	1165,189
5	0,9	0	0,81	0	1	4	988,723
6	-0,9	0	0,81	0	1	4	812,257
7	-2,7	0	7,29	0	1	4	635,791
8	1,8	-1,6	3,24	2,56	2	3	984,081
9	0	-1,6	0	2,56	2	3	895,847
10	-1,8	-1,6	3,24	2,56	2	3	807,614
			29,16	15,36			9004,900

Kontrol beban pada P5C-1.



Gambar 13. Tipe susunan tiang P4C-1.

Tabel 15. Hasil distribusi beban tiang sesudah akibat Myi, dan Mxi (P5-C1)

No.	x <sub>i</sub> (m)	y <sub>i</sub> (m)	x <sub>2</sub> (m)	y <sub>2</sub> (m)	m (y)	n (x)	q kN
1	1,6	0,9	2,56	0,81	2	2	2237,335
2	-1,6	0,9	2,56	0,81	2	2	738,955
3	0	0	0	0	1	1	904,803
4	1,6	-0,9	2,56	0,81	2	2	1070,651
5	-1,6	-0,9	2,56	0,81	2	2	-427,729
			10,24	3,24			4524,015

Tabel 16. Hasil Daya Dukung Ijin (Qall) BH-01.

No.	(Kontrol Beban Terbesar Fondasi)	Metode	Qall (ton)			Ket.
			Teori			
			Qult	SF	Qall	
1.	116,5	Metode Briaud, et al	299,751	2	149,876	Aman
2.		Metode Mayerhoff SPT	314,780	2	157,390	Aman
3.		Metode L. Decourt	343,200	2	171,600	Aman

Tabel 17. Hasil Daya Dukung Ijin (Qall) BH-02.

No.	(Kontrol Beban Terbesar Fondasi)	Metode	Qall (ton)			Ket.
			Teori			
			Qult	SF	Qall	
1.	223,7	Metode Briaud, et al	294,372	2	147,186	Tidak Aman
2.		Metode Mayerhoff SPT	313,838	2	156,919	Tidak Aman
3.		Metode L. Decourt	360,192	2	180,096	Tidak Aman

Pada hasil BH-01 nilai  $P_{max} < Q_{all}$ , (daya dukung ijin) pada ketiga metode maka aman terhadap kontrol beban terbesar fondasi tiang pada pile cap C-4 titik uji PDA-01. Sedangkan pada hasil BH-02  $P_{max} > Q_{all}$  maka tidak aman terhadap kontrol pada beban terbesar fondasi pada ketiga metode

### Penurunan Fondasi

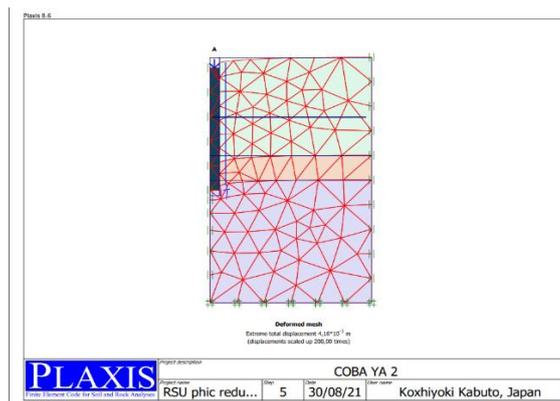
Analisis Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi *Bored Pile* Menggunakan Metode Teoritis, Metode Elemen Hingga dengan Uji Test PDA (*Pile Driving Analyzer*) (Studi Kasus Pembangunan Gedung B Rumah Sakit Muhammadiyah Metro)

Hasil penurunan tiang bor yang diperoleh dengan metode teori, data sondir Tabel 18. belum dapat dipertimbangkan karena menggunakan data daya dukung ujung dan selimut dengan daya sondir yang kurang lengkap sesuai kedalaman fondasinya.

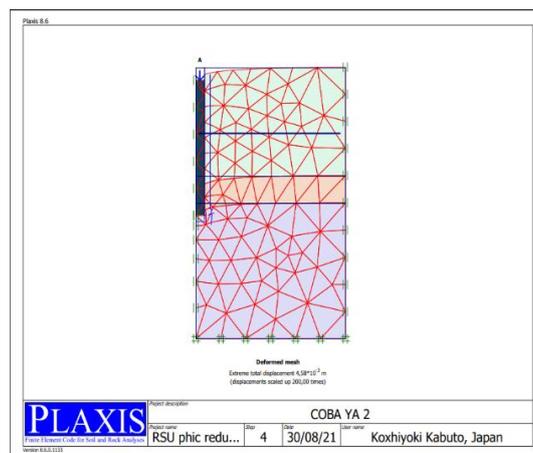
Tabel 18. Perbandingan hasil penurunan data sondir

No.	Penurunan	Hasil Penurunan (cm)	Kontrol Penurunan
1.	Penurunan Elastis Qu Data Sondir S-01		
	Metode Mayerhoff Sondir	5,17	<6
	Metode Philipponant	4,32	<6
	Metode Andina	5,10	<6
2.	Penurunan Elastis Qu Data Sondir S-02		
	Metode Mayerhoff Sondir	5,27	<6
	Metode Philipponant	4,47	<6
	Metode Andina	5,23	<6

Hasil penurunan tiang menggunakan metode teori N-SPT BH-01 dan BH-02, metode elemen hingga, dan hasil PDA CAPWAP tiang No.1 dan No.2 aman terhadap kontrol penurunan dimana  $S_{ijin}$ , yaitu  $10\% D = 10\% \times 60 = 6$  cm. Kemudian hasil dapat dilihat pada dibawah ini.



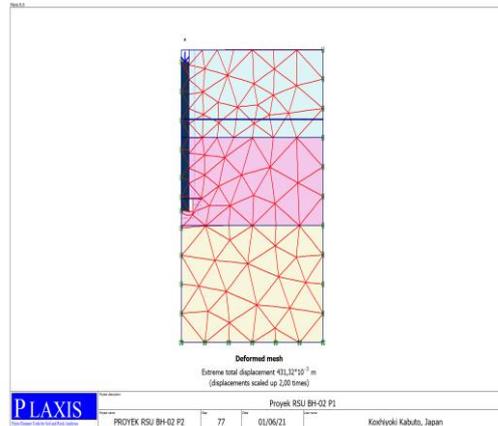
Gambar 14. Hasil output displacement Plaxis BH-01 P1.



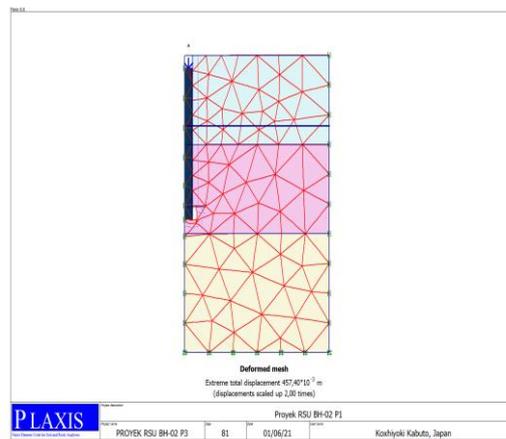
Gambar 15. Hasil output displacement Plaxis BH-01 P3.

Nilai Penurunan pada P1 = 0,317 cm

Nilai Penurunan pada P3 = 0,416 cm



Gambar 16. Hasil output displacement Plaxis BH-02 P2.



Gambar 17. Hasil output displacement Plaxis BH-02 P3.

Nilai Penurunan pada P2 = 4,310cm

Nilai Penurunan pada P3 = 4,570 cm

Tabel 19. Hasil Penurunan Metode Teoritis, Elemen Hingga, dan PDA BH-01

No.	Penurunan	Hasil Penurunan (cm)	Persentase Selisih %
1.	Penurunan Elastis Qu Data N-SPT		
	Metode Briaud, et al	1,683	134%
	Metode Mayerhoff SPT	4,055	463%
	Metode L. Decourt	1,002	39%
2.	Paulus & Davis		
	P1	0,627	-13%
	P3	0,896	24%
3.	Penurunan Elemen Hingga		
	P1	0,416	-42%
	P3	0,458	-36%
4.	Penurunan PDA	0,500	
	CAPWAP	0,720	

Tabel 20. Hasil Penurunan Metode Teoritis, Elemen Hingga, dan PDA BH-02

Analisis Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi *Bored Pile* Menggunakan Metode Teoritis, Metode Elemen Hingga dengan Uji Test PDA (*Pile Driving Analyzer*) (Studi Kasus Pembangunan Gedung B Rumah Sakit Muhammadiyah Metro)

No.	Penurunan	Hasil Penurunan (cm)	Kontrol Penurunan
1.	Penurunan Elastis Qu Data N-SPT		
	Metode Briaud, et al	1,596	36%
	Metode Mayerhoff SPT	4,222	261%
	Metode L. Decourt	0,704	-40%
2.	Paulus & Davis		
	P2	0,630	-46%
	P3	0,896	-23%
3.	Penurunan Elemen Hingga		
	P2	4,310	268%
	P3	4,570	291%
4.	Penurunan PDA	1,100	
	CAPWAP	1,170	

Hasil selisih terkecil dari beberapa metode adalah metode Paulus & Davis pada kedua titik BH-01 dan BH-02. Penurunan konsolidasi didapatkan hasil seperti pada Tabel 5.5. Hasil penurunan konsolidasi aman terhadap penurunan total ijin menurut (SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Goetchnik) pasal 9.2.4.3. Penurunan total izin  $< 15 \text{ cm} + b/600$  (b dalam satuan cm) = 15,1 cm.

Tabel 22. Hasil Penurunan Konsolidasi

No.	Titik	Penurunan (cm)
1.	BH-01	13,1936
2.	BH-02	12,6387

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan Proyek Pembangunan Gedung B RSU Muhammadiyah Metro, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Tabel 23. Perbandingan Daya Dukung Teori (N-SPT) dan Elemen Hingga dengan CAPWAP.

No.	CAPWAP BH-01 (ton)	Nilai Qult		Selisih Qult	Persentase Selisih Qu	Nilai Qult		Selisih Qult	Persentase Selisih Qult
		Teori N-SPT (ton)				Elemen Hingga (ton)			
1.	329,8	Metode Briaud, et al	299,751	-30,049	-9,11%	P1	247,905	-81,895	-24,8%
2.		Metode Mayerhoff SPT	314,780	-15,020	-4,55%	P3	297,605	-32,195	-9,8%
3.		Metode L. Decourt	343,200	13,400	4,06%				
No.	CAPWAP BH-02 (ton)	Nilai Qult		Selisih Qult	Persentase Selisih Qu	Nilai Qult		Selisih Qult	Persentase Selisih Qult
		Teori N-SPT (ton)				Elemen Hingga (ton)			
1.	397,1	Metode Briaud, et al	294,372	-102,728	-25,87%	P2	247,90	-148,009	-37,27%
2.		Metode Mayerhoff SPT	313,838	-83,262	-20,97%	P3	264,237	-132,864	-33,46%
3.		Metode L. Decourt	360,192	-36,908	-9,29%				

- Hasil perbandingan selisih terkecil berdasarkan tabel diatas adalah metode L. Decourt pada kedua titik dengan nilai 4,06% pada titik BH-01 dan -9,29% pada BH-02, dan selisih terkecil elemen hingga adalah -24,8% pada P1 dan -9,8% pada P2. Dimana hasil selisih terkecil pada metode teori dan elemen hingga ada pada titik BH-01. Hasil perbandingan pengujian *static* dan pengujian *dinamis* tersebut masih didapatkan hasil perbandingan selisih yang tidak jauh berbeda hasil tersebut dapat mengonfirmasi hasil daya dukung metode satu dengan metode lainnya.

Hasil perhitungan menggunakan data sondir tidak dapat digunakan sebagai pembandingan hasil daya dukung CAPWAP dikarenakan data yang kurang lengkap. Pada hasil BH-01 nilai  $P_{max} < Q_{all}$ , (daya dukung ijin) pada ketiga metode maka aman terhadap kontrol beban terbesar fondasi tiang pada pile cap C-4 titik uji PDA-01. Sedangkan pada hasil BH-02  $P_{max} > Q_{all}$  maka tidak aman terhadap kontrol pada beban terbesar fondasi pada ketiga metode.

2. Hasil penurunan tiang menggunakan metode Elastis dan metode Paulus&Davis metode elemen hingga, dan hasil PDA dan CAPWAP aman terhadap kontrol penurunan ijin 10%D. Hasil selisih perbandingan terkecil dengan hasil CAPWAP adalah metode Paulus&Davis pada BH-01 yaitu -13% dan BH-02 yaitu -23%. Hasil penurunan konsolidasi aman terhadap penurunan total ijin menurut (SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Goetchnik. Penurunan hasil data sondir didapatkan hasil dengan nilai lebih besar, dan tidak dapat dibandingkan dikarenakan data yang kurang lengkap dan titik uji sondir yang sangat jauh dari titik uji.
3. Hasil PDA Test pada tiang No.1 terjadi *overstressed* karena nilai CSX lebih tinggi dari tegangan ijin tekan, untuk EMX tiang No.2 melebihi efisiensi hammer yang disarankan, pada laporan hasil CAPWAP tidak terdapat keterangan dari CAPWAP *match quality* dan terdapat data yang belum lengkap diberikan dalam laporan, seperti persentase kerusakan fondasi (BTA) dan tinggi jatuh hammer test (STK).
4. Perbedaan yang sangat besar pada hasil penelitian ini dapat disebabkan oleh bedanya titik pengujian pada setiap metode, sehingga jenis dan sifat tanah yang diteliti juga berbeda, cara pelaksanaan dilapangan yang kurang teliti (*human error*), dan perbedaan parameter yang digunakan setiap metode perhitungannya.

Analisis Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi *Bored Pile* Menggunakan Metode Teoritis, Metode Elemen Hingga dengan Uji Test PDA (*Pile Driving Analyzer*) (Studi Kasus Pembangunan Gedung B Rumah Sakit Muhammadiyah Metro)

### Bibliografi

- Azizi, Amris, Salim, M. Agus, & Ramadhon, Gilang. (2020). Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang Proyek Gedung DPRD Kabupaten Pemalang. *Jurnal Teknik Sipil: Rancang Bangun*, 6(2), 78–80. <https://doi.org/10.33506/rb.v6i2.1148>
- Fellenius, Bengt H. (1988). [Variation of CAPWAP results as a function of the operator](#). *Proc. 3rd Int. Conf. on the Application of Stress Wave Theory to Piles*, 814–825.
- Hardianti, Diah, Kasmuri, Mudiono, & Rosyad, Farlin. (2020). [Analisa Daya Dukung Tiang Pancang Secara Empirik Dan Numerik Pada Fly Over Keramasan Palembang](#). *Bina Darma Conference on Engineering Science (BDCES)*, 2(1), 605–611.
- Indryana, Elvira. (2014). [Studi Daya Dukung Pondasi Bored Pile Pada Gedung Bertingkat Terpadu Di Pelabuhan Tarahan Bandar Lampung](#).
- Nji, Lauw Tjun. (2012). PDA Test <http://lauwtjunnji.weebly.com/pda-test.html>.
- Plaxis. (2021). [Version 8 Material Models Manual](#).
- PUSTEK. (2021). <https://pustek.com/pustek-service/finite-element-analysis/>.
- Rozeli, Choirus Soleh. (2020). Analysis of the Carrying Capacity of the Pile Foundation Compared to Jacking System and Pile Driving Analyzer (PDA) Test. *IJTI International Journal of Transportation and Infrastructure EISSN 2597-4769 PISSN 2597-4734*, 3(2), 79–98. <https://doi.org/10.29138/ijti.v3i2.1060>
- Santoso, Hinawan Teguh, & Hartono, Juandra. (2020). [Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasar Hasil Uji Spt Dan Pengujian Dinamis](#). *Jurnal Riset Rekayasa Sipil Universitas Sebelas Maret*, 4(1), 31–38.
- Satria, Zoni, Fatnanta, Ferry, & Nugroho, Soewignjo Agus. (2020). [Pengaruh Waktu Terhadap Daya Dukung Fondasi Tiang pada Tanah Lunak dengan Variasi Kekasaran](#). *Jurnal Rekayasa Sipil*, 16(1), 12–24.
- Simanjuntak, Johan Oberlyn, & Suita, Diana. (2017). [Analysis of Bearing Capacity Pile Foundation with Using Capwap Software for Testing Pile Driving Analyzer \(pda\) at Fasel Development Project Parlimbungan Ketek Sikara-Kara Mandailing Natal District \(north Sumatera\)](#). *Journal of Physics: Conference Series*, 930(1), 12010. IOP Publishing.
- Tomlinson, M. J. (1977). [Pile design and construction practice](#). Cement and Concrete Association. London, United Kingdom.
- Vaidya, Ravikiran. (2006). [Introduction to high strain dynamic pile testing and reliability studies in Southern India](#). *Proceedings of Indian Geotechnical Conference, Chennai, India*, 901–904.

Wahidmurni, Dr. (n.d.). MP (2017). [Pemaparan Metode Penelitian Kuantitatif](#). *Jurnal Manajemen*, 7(1), 45–56.

Yani, Disty Suci Anggi. (2021). [Menghitung Daya Dukung Tiang Pancang Pada Gedung Perkantoran Menggunakan Data Spt Dan Sondir Dengan Metode Décourt-Quaresma 1982, Mayerhof 1956, Schmertmann 1975 Dan LCPC 1982](#).