

STUDI PERBANDINGAN KAPASITAS DUKUNG FONDASI TIANG MENGUNAKAN METODE MAYERHOF DAN PLAXIS DENGAN HASIL PENGUJIAN *PILE DRIVING ANALYZER* (PDA)

Alfrian Dwi Rahmananda¹, Syahril Rahmat²

^{1,2}Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Email: alfriandwirh@gmail.com

Abstrak: Fondasi merupakan elemen struktur bawah yang berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah, sehingga kapasitas dukung fondasi harus lebih besar dari beban maksimum struktur atas untuk menjamin keamanan dan stabilitas bangunan. Penentuan kapasitas dukung fondasi dapat dilakukan melalui metode analitis dan hasil penyelidikan tanah, seperti uji *Standart Penetration Test* (SPT). Metode analitis yang digunakan adalah metode Mayerhof, yang didasarkan pada hasil tahanan ujung dan tahanan selimut tiang pancang. Penyelidikan tanah pada proyek Gedung Asrama C Politeknik Pelayaran Sumatera Barat menunjukkan variasi lapisan tanah sehingga fondasi tiang pancang memiliki kedalaman yang bervariasi yaitu kedalaman 8 dan 36 meter. Pengujian lapangan menggunakan *Pile Driving Analyzer* (PDA) dilakukan untuk mengevaluasi daya dukung dan integritas tiang pancang secara dinamis sesuai standar ASTM-4945-08. Selain itu, analisis numerik menggunakan *software* Plaxis2D dilakukan untuk memodelkan perilaku tanah dan fondasi secara lebih komprehensif dengan mempertimbangkan parameter tanah yang kompleks. Hasil perbandingan kapasitas dukung tiang pancang antara perencanaan analitis, simulasi Plaxis, dan pengujian PDA menunjukkan variasi nilai yang signifikan, di mana kapasitas dukung hasil pengujian PDA cenderung lebih kecil dibanding perhitungan analitis dan Plaxis. Perbedaan ini disebabkan oleh kompleksitas kondisi lapangan dan parameter tanah yang lebih rinci dimodelkan dalam Plaxis dibandingkan metode manual. Temuan ini menegaskan pentingnya verifikasi lapangan dan penggunaan pemodelan numerik untuk memastikan keamanan dan keandalan struktur fondasi, terutama pada kondisi tanah yang heterogen dan variatif.

Kata Kunci : fondasi tiang pancang, metode Mayerhof, Plaxis2D, *Pile Driving Analyzer* (PDA)

Abstract : Foundations are structural elements that transfer loads from the superstructure to the soil, thus the bearing capacity of the foundation must exceed the maximum load from the structure to ensure the safety and stability of the building. The determination of foundation bearing capacity can be performed through analytical methods and soil investigation results, such as the *Standard Penetration Test* (SPT). Common analytical methods Mayerhof, which are based on end-bearing and skin friction resistance of the pile foundation. Soil investigation at the Dormitory C building project of the Sumatera Barat Shipping Polytechnic revealed soil layer variations, resulting in pile foundation depths of 8 and 36 meters. Field testing using the *Pile Driving Analyzer* (PDA) was conducted to dynamically evaluate the bearing capacity and integrity of the piles in accordance with ASTM-4945-08 standards. Additionally, numerical analysis using Plaxis 2D software was performed to model soil and foundation behavior more comprehensively by considering complex soil parameters. The comparison of pile bearing capacity between analytical design, Plaxis simulation, and PDA testing showed significant variations, with PDA test results generally lower than analytical and Plaxis calculations. This discrepancy is attributed to the complex field conditions and more detailed soil parameters modeled in Plaxis compared to manual methods. These findings emphasize the importance of field verification and numerical modeling to ensure the safety and reliability of foundation structures, especially in heterogeneous and variable soil conditions.

Keyword : Pile foundation, Method Mayerhof, Plaxis2D, *Pile Driving Analyzer* (PDA)

PENDAHULUAN

Fondasi merupakan bagian struktur bawah yang berfungsi menahan beban-beban dari struktur atas bangunan. Sitohang et al. (2024) menyatakan bahwa fondasi memiliki peran penting sebagai penghubung antara bangunan dengan tanah, di mana tanah akan menyerap dan mendistribusikan beban tersebut ke sekitar fondasi. Oleh karena itu, kapasitas dukung fondasi harus lebih besar daripada beban maksimum yang diterima dari struktur atas guna mengoptimalkan kekuatan dan stabilitas struktur bawah.

Dalam proses perencanaan fondasi, kapasitas dukung biasanya ditentukan melalui perhitungan menggunakan metode analitis serta berdasarkan hasil penyelidikan tanah. Metode analitis merupakan pendekatan perhitungan yang didasarkan pada observasi, pengalaman, dan data eksperimental yang telah dikembangkan dari penelitian sebelumnya. Beberapa metode analitis yang umum digunakan dalam perhitungan kapasitas dukung fondasi adalah metode Mayerhof, dan program Plaxis. Program Plaxis 2D digunakan sebagai alat pemodelan numerik yang mampu mensimulasikan perilaku tanah dan interaksi tanah-fondasi secara lebih komprehensif. Plaxis 2D menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*) yang memungkinkan pemodelan parameter tanah yang kompleks, termasuk sifat elastis-plastis dan heterogenitas lapisan tanah.

Selain dari hasil analitis, kapasitas dukung fondasi juga dapat dianalisis dari hasil penyelidikan tanah. Dimana pada proyek pembangunan Gedung Asrama C Politeknik Pelayaran Sumatera Barat, penyelidikan tanah menggunakan bor mesin untuk mendapatkan nilai *Standart Penetration Test* (SPT) yang dilakukan pada bulan Juni 2024. Hasilnya menunjukkan variasi kedalaman dan ketebalan lapisan tanah pada dua titik pengujian, dengan nilai SPT yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil yang diperoleh, jenis fondasi yang dipilih adalah fondasi tiang pancang dengan kedalaman bervariasi yaitu kedalaman 8m dan 36m.

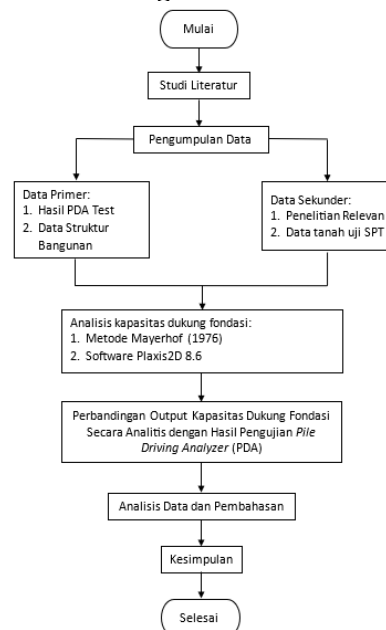
Pengujian tiang pancang dilakukan dengan menggunakan *Hydraulic Static Pile Driver* (HSPD). HSPD adalah alat pemancangan tiang modern yang menggunakan sistem tekanan hidrolik statis (tanpa tumbukan) untuk memasukkan tiang ke dalam tanah. Alat HSPD memiliki sejenis manometer yang berfungsi untuk membaca tekanan yang dihasilkan selama proses pemancangan berlangsung. Setelah semua proses pemancangan selesai dilakukan, ada proses

pengujian lapangan yang harus dilaksanakan. Pengujian lapangan ini bertujuan untuk memastikan daya dukung dan keutuhan tiang sesuai dengan perencanaan agar struktur yang didukungnya aman dan stabil. Pengujian yang dilakukan pada gedung asrama C Politeknik Pelayaran Sumatera Barat adalah pengujian lapangan menggunakan *Pile Driving Analyzer* (PDA).

Proyek gedung asrama C Politeknik Pelayaran Sumatera Barat melakukan pengujian *PDA test* dengan menggunakan 2 sampel tiang yaitu titik 156 untuk kedalaman 8 meter dan titik 190 untuk kedalaman 36 meter, pemilihan kedua titik ini didasari dari hasil pemancangan yang mendapatkan kuat tekan maksimum yaitu 20 MPa atau setara dengan 281,09 Ton. Namun pada saat proses pengujian *PDA test* pada titik 190 kepala tiang pecah sehingga pengujian harus dihentikan. Hal ini juga diakibatkan oleh lapisan tanah yang jenuh karena intensitas curah hujan yang tinggi. Oleh karena itu, perlu dipastikan kembali nilai kapasitas dukung fondasi yang didapatkan dari pengujian lapangan menggunakan *PDA test* dengan hasil penyelidikan tanah dari perencanaan menggunakan cara analitis dengan metode Mayerhof, serta program Plaxis2D.

METODE PENELITIAN

Berikut merupakan metode penelitian yang dirangkum dalam diagram alir di bawah ini:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pengumpulan Data

Data Primer

Data primer ini meliputi data-data yang langsung didapatkan dari lokasi proyek pembangunan

gedung Asrama C Politeknik Pelayaran Sumatera Barat seperti data struktur bangunan dan juga data pengujian lapangan berupa *Pile Driving Analyzer* (PDA)

Data Sekunder

Data sekunder didapatkan dengan cara mengunduh jurnal-jurnal terkait yang mendukung penelitian ini. Kemudian hasil penyelidikan tanah dengan menggunakan bor mesin yang menghasilkan nilai SPT.

Perhitungan Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal

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

Dimana:

Q_u = Kapasitas dukung tiang tunggal (ton)

Q_p = Tahanan ujung tian (ton)

Q_s = Tahanan selimut tiang (ton)

Metode Mayerhof (1976)

Tahanan ujung tanah granular

$$Q_p = A_p \left(40 \times N_p \times \frac{L}{D} \leq 400 \times N_p \times A_p \right) \dots\dots(2)$$

Tahanan ujung tanah kohesif

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p \dots\dots\dots(3)$$

Tahanan selimut tanah granular

$$Q_s = 2 \times N_{SPT} \times p \times \Delta l \dots\dots\dots(4)$$

Tahanan selimut tanah kohesif

$$Q_s = p \times \Delta l \times (\alpha \times C_u) \dots\dots\dots(5)$$

Dimana:

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

N = Nilai N-SPT

L = Panjang tiang yang ditinjau (m)

D = Diameter tiang (m)

C_u = Kohesi *undrained* (kN/m^2)

$$= 2/3 \times N-SPT \times 10 \dots\dots\dots(6)$$

p = Keliling selimut tiang (m)

Δl = Ketebalan lapisan tanah (m)

α = Koefisien adhesi

$$= C_u / p_a \dots\dots\dots(7)$$

p_a = Tegangan atmosfer ($\approx 100 \text{ kN/m}^2$)

Untuk mendapatkan nilai α dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Variasi Nila α

Cu/pa	α
$\leq 0,10$	1,00
0,20	0,92
0,30	0,82
0,40	0,74
0,60	0,62
0,8	0,54
1,0	0,48
1,2	0,42
1,4	0,40
1,6	0,38
1,8	0,36

2,0	0,35
2,4	0,34
2,8	0,34

Distribusi Beban ke Tiap Tiang

Distribusi beban ke tiap tiang dalam kelompok tiang pancang merupakan proses pembagian beban total struktur yang diteruskan ke pondasi tiang secara proporsional berdasarkan posisi dan kondisi tiap tiang. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai beban pada tiap-tiap tiang jika dalam kondisi sentris:

$$P_i = \frac{\sum V}{n} \dots\dots\dots(8)$$

Dimana:

P_i = Beban pada tiang ke-i

$\sum V$ = Total beban vertikal pada kelompok tiang

n = Jumlah tiang dalam kelompok

Pembebanan

Beban mati

Beban mati merupakan beban yang berasal dari bahan konstruksi bangunan gedung itu sendiri yaitu terdiri dari beban lantai, beban atap, beban plafon, beban tangga dan beban komponen arsitektural dan struktural lainnya termasuk dari beban derek dan sistem pengangkut material (SNI 1727:2020)

Beban mati tambahan

Beban mati tambahan adalah beban pada struktur dari tahapan finishing lantai berupa keramik dan plesteran, beban dinding maupun beban tambahan lainnya

Beban hidup

Menurut SNI 1727:2020, beban hidup dalam perencanaan struktur bangunan adalah beban maksimum yang dapat terjadi pada struktur akibat penggunaan bangunan gedung itu sendiri, akan tetapi beban yang diberikan tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang telah ditetapkan.

Beban gempa

Beban gempa adalah beban yang berasal dari percepatan getaran tanah saat terjadinya gempa bumi. Beban gempa juga dapat dianalisis dengan gaya lateral ekuivalen atau dengan cara analisis *respon spektrum* (Usmat, N. A., et al, 2019).

PLAXIS

Plaxis adalah perangkat lunak simulasi berbasis *Finite Element Method* (FEM) yang secara khusus dikembangkan untuk analisis geoteknik. Menurut Bagus et al. (2024) program Plaxis secara umum

dibagi menjadi 4 bagian pemrograman sebagai berikut:

1. Plaxis *Input*
2. Plaxis *Calculation*
3. Plaxis *output*
4. Plaxis *curve*

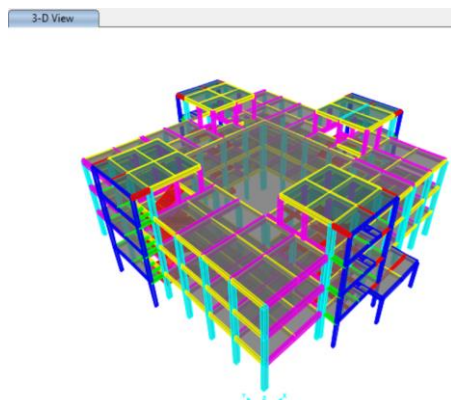
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan struktur atas

Pemodelan yang digunakan menggunakan software SAP2000 dengan menggambar material balok, kolom, pelat sesuai dengan perencanaan seperti tabel berikut.

Tabel 2. Dimensi Material Bangunan

Dimensi Balok	:	B1 (400 × 150) mm B2 (300 × 200) mm B3 (400 × 200) mm B4 (500 × 200) mm B5 (600 × 200) mm B6 (700 × 300) mm B7 (750 × 350) mm BK1 (200 × 400) mm BK2 (200 × 600) mm BK3 (200 × 500) mm
Dimensi Kolom	:	K1 (400 × 300) mm K2 (600 × 400) mm K3 (400 × 400) mm.
Dimensi Pelat	:	Lantai dasar dan atap Tebal 100 mm, dan Lantai 2-3 Tebal 120 mm



Gambar 2. Pemodelan Struktur Atas

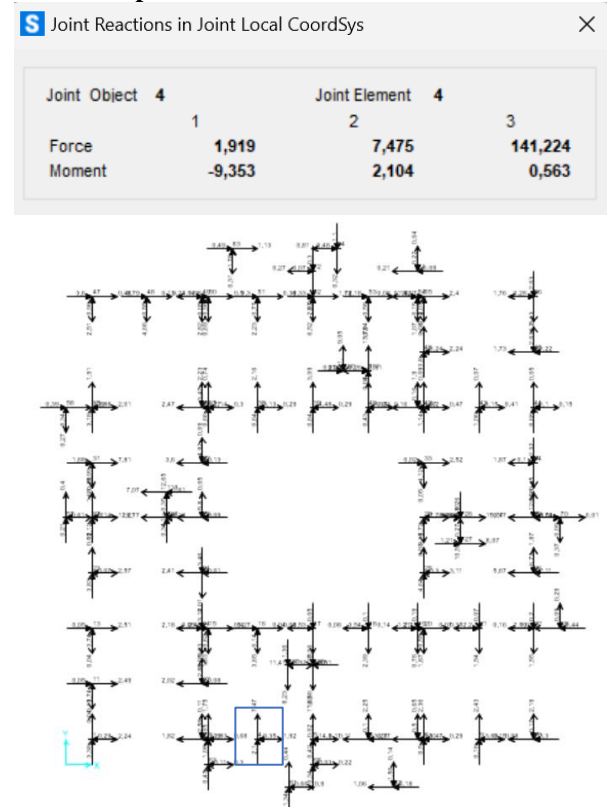
Kombinasi pembebanan

Tabel 3. Kombinasi Pembebanan

KOMBINASI	DL	SIDL	LL	E _x	E _y
P.1	1	1			
P.2	1	1	1		
P.3	1	1	0,75		
P.4	0,6	0,6			
P.5	1,11	1,110		0,273	0,91
P.6	1,11	1,110		0,273	-0,91
P.7	1,11	1,110		-0,273	0,91
P.8	1,11	1,110		-0,273	-0,91

P.9	1,11	1,110		0,910	0,273
P.10	1,11	1,110		-0,910	0,273
P.11	1,11	1,110		0,910	-0,27
P.12	1,11	1,110		-0,910	-0,27
P.13	1,083	1,083	0,75	0,205	0,68
P.14	1,083	1,083	0,75	0,205	-0,68
P.15	1,083	1,083	0,75	-0,205	0,682
P.16	1,083	1,083	0,75	-0,205	-0,68
P.17	1,083	1,083	0,75	0,682	0,21
P.18	1,083	1,083	0,75	-0,682	0,21
P.19	1,083	1,083	0,75	0,682	-0,21
P.20	1,083	1,083	0,75	-0,682	-0,21
P.21	0,49	0,49		0,273	0,91
P.22	0,49	0,49		0,273	-0,91
P.23	0,49	0,49		-0,273	0,91
P.24	0,49	0,49		-0,273	-0,91
P.25	0,490	0,490		0,91	0,27
P.26	0,490	0,490		-0,91	0,27
P.27	0,490	0,490		0,91	-0,27
P.28	0,490	0,490		-0,91	-0,27

Hasil Output Struktur Atas



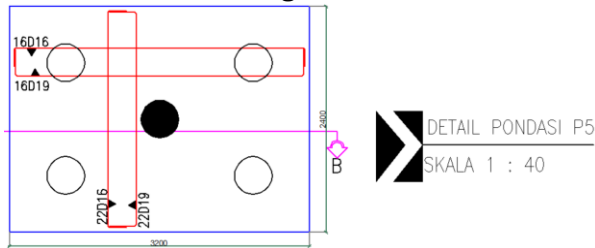
Gambar 3. Hasil Output Struktur Atas Bangunan

Hasil yang didapatkan dari analisis struktur atas diambil dari nilai beban tertinggi, karena akan disimulasikan ke program plaxis untuk menahan beban maksimum yang mampu ditahan oleh

fondasi, oleh karena itu nilai yang diambil dari struktur atas adalah nilai beban terbesar yang didapatkan dari joint 4 sebagai berikut:

$$P_{maks} = 141,224 \text{ Ton}$$

Distribusi Beban Tiang



Gambar 4. Pile cap dengan 5 tiang

Pada kondisi ini tiang menerima beban sentris karena beban tepat berada pada titik berat massa pada pile cap sehingga beban yang diterima merata pada tiap tiang. Sehingga beban yang diterima sebesar 282,45 kN

Perbandingan Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal Hasil Perencanaan

Kapasitas dukung fondasi tiang 8m

Tabel 4. perbandingan kapasitas dukung 8m

Metode	Kapasitas Dukung Fondasi Tiang 8m	Hasil Perbandingan menggunakan PDA
	Q_u (ton)	
Software Plaxis 8.6	224,55	
Mayerhof (1976)	219,64	2,18 %

Kapasitas dukung fondasi tiang 36m

Tabel 5. perbandingan kapasitas dukung 36m

Metode	Kapasitas Dukung Fondasi Tiang 36m	Hasil Perbandingan menggunakan PDA
	Q_u (ton)	
Software Plaxis 8.6	776,74	
Mayerhof (1976)	675,03	13,09 %

Tolak ukur nilai kapasitas dukung fondasi hasil perencanaan berdasarkan perhitungan menggunakan software Plaxis2D, karena program ini tidak hanya menggambarkan secara rinci kondisi tanah melainkan juga mampu memodelkan interaksi antara struktur fondasi dengan tanah melalui analisis deformasi plastis dan distribusi tegangan di bawah berbagai skenario pembebanan.

Perbandingan Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal Hasil Perencanaan dengan Pile Driving Analyzer (PDA)

Perbandingan kapasitas dukung fondasi tiang 8m dengan PDA test

Tabel 6. Perbandingan tiang 8m dengan PDA test

Metode	Kapasitas Dukung Fondasi Tiang	Hasil Perbandingan menggunakan PDA
	Q_u (ton)	
Pile Driving Analyzer (PDA)	75,84	
Mayerhof (1976)	219,64	189,61 %
Software Plaxis 8.6	224,55	196,08 %

Perbandingan kapasitas dukung fondasi tiang 36m dengan PDA test

Tabel 7. Perbandingan tiang 36m dengan PDA test

Metode	Kapasitas Dukung Fondasi Tiang	Hasil Perbandingan menggunakan PDA
	Q_u (ton)	
Pile Driving Analyzer (PDA)	105,29	Kepala tiang uji pecah pada saat PDA test.
Mayerhof (1976)	675,03	541,115 %
Software Plaxis 8.6	776,74	637,71 %

Pembahasan

Perbandingan kapasitas dukung fondasi tiang 8m yang dihasilkan menggunakan metode Mayerhof (1976) dengan hasil pengujian lapangan adalah sebesar 189,61%, dan perbandingan menggunakan software Plaxis 8.6 sebesar 196,08%. Beberapa faktor yang menyebabkan perbedaan yang cukup besar ini diantaranya:

- Energi pemancangan rendah;
Jika energi yang disalurkan oleh alat pemancangan saat pengujian PDA terlalu rendah, maka kapasitas dukung yang terukur cenderung lebih kecil dari kapasitas sebenarnya.
- kondisi tanah di lokasi pengujian;
Curah hujan yang tinggi mengakibatkan peningkatan kadar air dalam tanah, sehingga mengubah sifat mekanik tanah dari kondisi awal yang relatif kering menjadi lebih lunak dan jenuh air. Perubahan ini berdampak signifikan terhadap kapasitas dukung fondasi tiang pancang.
- Korelasi;
Perbedaan hasil perhitungan kapasitas daya dukung fondasi tiang pancang antara metode analitis dan pengujian PDA sebagian besar disebabkan oleh korelasi parameter tanah yang digunakan dalam perhitungan.

d) Parameter dan Kalibrasi Pengujian.

Kesalahan dalam pemasangan sensor, kalibrasi alat yang kurang tepat, atau posisi sensor yang tidak ideal dapat menyebabkan data PDA kurang akurat dan nilai kapasitas dukung menjadi lebih kecil dari hasil perencanaan.

Hasil perbandingan untuk kedalaman 36m kurang akurat jika dijadikan acuan karena pada saat pengujian *PDA test* kepala tiang pecah sehingga pengujian langsung dihentikan. Sehingga mengakibatkan perbedaan yang cukup jauh dengan metode Mayerhof yaitu sebesar 541,115% dan dengan software Plaxis sebesar 637,71%.

KESIMPULAN

Hasil *PDA test* hasilnya relatif sangat kecil dibandingkan dengan perencanaan kapasitas dukung fondasi menggunakan cara analitis dikarenakan beberapa hal seperti Energi Pemancangan yang Rendah, Kondisi Tanah di Lokasi Pengujian, Korelasi, dan Parameter dan Kalibrasi Pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

Aisah, E., & Dhiniati, F. (2023). Kapasitas Daya Dukung Fondasi Dangkal dengan Teori Terzaghi dan Mayerhof. *Konstruksia*, 15(1), 127-136.

Azizi, A., Salim, M. A., & Ramadhon, G. (2020). Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang Proyek Gedung DPRD Kabupaten Pematang. *Jurnal Teknik Sipil: Rancang Bangun*, 6(2), 78-80.

Hardiyatmo, H. C. (2008). *Teknik Fondasi II Edisi ke-4*. Yogyakarta: UGM.

Muka, I. W., Indriani, M. N., & Wintara, I. P. O. (2021). Analisis Daya Dukung Tanah Pada Perencanaan Proyek Gedung Dengan Metode Terzaghi, Meyerhof, Hansen Dan Vesic. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 10(2), 1-7.

Tehuayo, D. R., & Savitri, E. (2021). Analisis Metode Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Pada Jembatan Wai Namlay Di Provinsi Maluku. *Jurnal ARTESIS*, 1(1), 81-87.

Sitohang, A., Batubara, S., Sitohang, O., & Hutagalung, P. L. (2024). Daya Dukung Fondasi Berdasarkan Penyelidikan Tanah pada Perencanaan Bangunan Gedung Rumah Bina Besitang. *Action Research Literate*, 8(8), 2384-2391.

Septianto, B. T., Yani, M. I., & Sarie, F. (2023). Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Berdasarkan Hasil N-SPT yang Terkoreksi dari Hasil PDA Test Pada Proyek Jembatan Bukit Rawi. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(2).

Wismantaraharjo, M. T., Gandi, S., & Sarie, F. (2020). Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Tiang Pancang Kelompok Proyek Pembangunan Gedung DPRD Kota Palangka Raya. *Jurnal Teknik: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Keteknikan*, 3(2), 198-207.

Yusti, A., & Fahriani, F. (2014). Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Diverifikasi dengan Hasil Uji Pile Driving Analyzer Test dan CAPWAP (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel di Pangkalpinang). In *Forum Profesional Teknik Sipil* (Vol. 2, No. 1, p. 61239). Bangka Belitung University.