REKAYASA
Journal of Science and Technology
https://journal.trunojoyo.ac.id/rekayasa

REKAYASA19(1): 2026 pp.155-161
ISSN: 0216-9495 (Print)
ISSN: 2502-5325 (Online)

Optimasi Desain Fondasi Tiang Pancang pada Struktur Slab On Pile Proyek Pembangunan Jalan Tol

Muhammad Fauzi Jatmiko[1)], Dian Purnamawati Solin [2*)], Bagas Aryaseta[3)]
[1,2,3] Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur
*email: diansolin.ts@upnjatim.ac.id

DOI: https://doi.org/10.21107/rekayasa.v19i1.34232
Submitted April, 30th 2026, Accepted May, 15th 2026, Published June, 3rd 2026

Abstrak

Perencanaan fondasi tiang pancang pada struktur *slab on pile* memegang peranan penting dalam menjamin kinerja dan stabilitas struktur, khususnya pada kondisi tanah yang bervariasi. Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol di Jawa Timur, hasil uji *Pile Driving Analyzer* (PDA) menunjukkan bahwa kapasitas daya dukung tiang pada beberapa titik tidak memenuhi nilai rencana, sehingga diperlukan evaluasi dan optimasi desain fondasi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan optimasi desain fondasi tiang pancang dengan membandingkan variasi dimensi tiang (diameter dan kedalaman). Dari hasil penelitian didapatkan bahwa dimensi fondasi tiang diameter 80 cm merupakan alternatif desain yang paling optimal. Hal ini ditunjukkan oleh kapasitas daya dukung sebesar 2003,8 kN terhadap gaya aksial 1804,174 kN, yang memberikan margin keamanan terbesar dibandingkan variasi lainnya. Dari sisi penurunan, diameter 80 cm menghasilkan nilai sebesar 25,41 mm, yang masih berada dalam batas izin yaitu sebesar 50 mm. Berdasarkan hasil tersebut, variasi diameter 80 cm dinyatakan sebagai alternatif desain yang paling optimal karena memberikan kombinasi terbaik antara kapasitas daya dukung yang tinggi dan penurunan yang masih terkendali.
Kata Kunci : Fondasi Tiang Pancang, *Slab on Pile*, Daya Dukung, Penurunan, Metode Elemen Hingga

Abstract

Pile foundation design in slab-on-pile structures plays a crucial role in ensuring structural performance and stability, particularly under varying soil conditions. In the toll road construction project in East Java, results from the Pile Driving Analyzer (PDA) tests indicated that the pile bearing capacity at several points did not meet the design requirements, necessitating evaluation and optimization of the foundation design. Therefore, this study performs an optimization of pile foundation design by comparing variations in pile dimensions (diameter and depth). The results show that a pile diameter of 80 cm represents the most optimal design alternative. This is indicated by a bearing capacity of 2003.8 kN against an axial load of 1804,174 kN, providing the highest safety margin compared to other variations. In terms of settlement, the 80 cm diameter yields a value of 25,41 mm, which is still within the allowable limit of 50 mm. Based on these findings, the 80 cm diameter is considered the most optimal design alternative as it provides the best combination of high bearing capacity and controlled settlement.
Keyword **:** *Pile Foundation, Slab-on-Pile, Bearing Capacity, Settlement, Finite Element Method*

© 2026 Authors

PENDAHULUAN

Perencanaan fondasi tiang pancang merupakan salah satu aspek fundamental dalam menjamin keamanan, stabilitas, serta kinerja jangka panjang suatu struktur, terutama pada proyek infrastruktur berskala besar seperti jalan tol yang umumnya dibangun di atas kondisi tanah dengan karakteristik yang kompleks dan bervariasi secara lateral maupun vertikal (Zakki Rizal Hidayat et al., 2024). Variasi sifat tanah, seperti kepadatan relatif, kuat geser, serta kompresibilitas, menuntut perencanaan fondasi yang tidak hanya mengacu pada parameter desain awal, tetapi juga mampu mengakomodasi ketidakpastian kondisi lapangan (Hong et al., 2013). Pada praktiknya hasil perencanaan fondasi yang didasarkan pada data investigasi tanah awal perlu diverifikasi dengan hasil pengujian di lapangan. Seringkali, hasil pengujian lapangan seperti *Pile Driving Analyzer* (PDA) menunjukkan adanya perbedaan terhadap nilai daya dukung yang telah direncanakan (Zakahfi & Kusumawardani, 2018). Perbedaan ini dapat disebabkan oleh keterbatasan jumlah titik investigasi, variasi kondisi

tanah, serta ketidakpastian dalam interpretasi parameter tanah (Zakahfi & Kusumawardani, 2018). Akibatnya, beberapa titik tiang pancang tidak mampu mencapai daya dukung yang ditargetkan dalam perencanaan.
Hal ini terjadi pada salah satu proyek pembangunan jalan tol di Jawa Timur, dimana hasil uji PDA di lapangan menunjukkan bahwa kapasitas daya dukung tiang pancang pada beberapa titik tidak mencapai nilai yang direncanakan. Kondisi ini menunjukkan adanya perbedaan antara asumsi desain dan kondisi tanah aktual, yang apabila tidak ditangani dapat menyebabkan penurunan diferensial dan ketidakstabilan struktur (Yatnikasari et al., 2022).

Menurut Septiandri et al., (2025), optimasi desain fondasi melalui variasi dimensi dan konfigurasi tiang terbukti mampu meningkatkan kinerja struktur, baik dari segi daya dukung maupun deformasi. Penyesuaian desain ini menjadi langkah penting dalam mengatasi ketidaksesuaian antara hasil perencanaan dan kondisi aktual di lapangan (Manika, 2024). Selain itu, Lenita et al., (2025) mengemukakan bahwa perbandingan antara hasil analisis empiris dan pengujian lapangan, seperti *loading test* atau PDA, sangat diperlukan untuk mengevaluasi keandalan desain fondasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil pengujian di lapangan seringkali lebih rendah dibandingkan hasil perencanaan (Shinder et al., 2020). Penyesuaian perencanaan desain diperlukan agar kapasitas daya dukung yang dihasilkan lebih representatif terhadap kondisi aktual (Muthmainnah, 2021).
Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan yang tidak hanya mengevaluasi ulang kapasitas daya dukung, tetapi juga melakukan optimasi desain fondasi secara menyeluruh dengan mempertimbangkan aspek daya dukung, penurunan, dan deformasi lateral. Dalam penelitian ini, optimasi dilakukan menggunakan variasi diameter dan kedalaman tiang yang berbeda dengan mengombinasikan perhitungan analitis dan pemodelan numerik menggunakan *finite element method* untuk memperoleh desain fondasi tiang pancang yang lebih representatif terhadap kondisi lapangan. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh desain fondasi yang lebih aman, efektif, dan efisien sesuai kondisi aktual lapangan serta meningkatkan efektivitas pekerjaan terutama pada struktur *slab on pile* di proyek ini.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Proyek Jalan Tol di Jawa Timur. Khususnya pada struktur *slab on pile* titik PS9 – PS10 dengan bentang 7 m yang menggunakan fondasi tiang pancang diameter 60 cm dengan tiang yang tertanam sedalam 15,5 m.

Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari hasil investigasi geoteknik dan dokumen perencanaan fondasi. Data tanah yang digunakan berupa nilai SPT tanah dari *drilling log* PS9-PS10.

Tabel 1. Data Tanah Berdasarkan N-SPT

Lapisan	Kedalaman -m	Jenis Tanah	N-SPT
1	0 - 4	Lempung Pasiran	3,5
2	4 - 14	Pasir Lempungan	17,6
3	14 - 16,5	Lempung Pasiran	35
4	16,5 - 26,5	Pasir Lempungan	21,5
5	26,5 - 28,5	Pasir Lepas	47
6	28,5 - 31	Pasir Lempungan	50
7	31 - 34	Pasir Lepas	36,5
8	34 - 38,5	Pasir Lempungan	49,5
9	38,5 - 40	Pasir Lepas	40

Sumber : Data Proyek, 2025

Koreksi N-SPT Terhadap Prosedur Lapangan

Nilai *Standard Penetration Test* (SPT) dari hasil uji lapangan perlu dikoreksi terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai yang lebih representatif (Hasibuan et al., 2025). Perhitungan koreksi N-SPT terhadap prosedur lapangan (N_{60}) menurut Skempton (1986) dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$N_{60} = \frac{EH \; x \; CB \; x \; CS \; x \; CR \; x \; N}{0,6} \quad \text{..... (1)}$$

Dimana,

EH = Efisiensi Hammer
CB = Diameter dari lubang bor
CS = Koreksi jenis sampler
CR = Koreksi panjang batang bor
N = Nilai SPT yang diperoleh di lapangan

Koreksi N-SPT Terhadap Tekanan Beban Berlebih (*Overburden*)

Koreksi nilai SPT terhadap tekanan beban berlebih (*overburden*) diperlukan karena nilai pukulan SPT sangat dipengaruhi oleh tekanan efektif tanah di sekitarnya (Karyatama et al., 2025). Koreksi terhadap tekanan beban berlebih (*overburden*) dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$(N_1)_{60} = C_N \, x \, N_{60} < 2 \, N_{60} \quad \text{..... (2)}$$

Keterangan:

$(N_1)_{60}$ = Nilai SPT koreksi untuk tekanan beban berlebih
C_N = Faktor koreksi tekanan beban berlebih
N_{60} = Nilai SPT koreksi untuk prosedur lapangan

Untuk menghitung nilai C_N menurut Peck et. al. (1974) dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$C_N = 0,77 \log \frac{2000}{\sigma'0} \quad \text{..... (3)}$$

Dimana,

$\sigma'0$ = Tegangan efektif (kN/m^2)

Koreksi N-SPT Terhadap Muka Air Tanah

Tanah yang berada di bawah permukaan tanah dengan nilai N-SPT lebih dari 15, khususnya yang tergolong sebagai pasir berlempung, pasir berlanau, dan pasir halus, memerlukan koreksi terhadap nilai N-SPT sebelum digunakan dalam analisis geoteknik (Prima et al., 2019). Menurut Terzaghi et al., 1996 perhitungan dapat dilakukan dengan persamaan berikut:

$$(N_1)_{60\,(CORR)} = 15 + \frac{1}{2} \, x \, [(N_1)_{60} - 15] \quad \text{..... (4)}$$

Keterangan:

$N_1)_{60\,(CORR)}$ = Nilai SPT koreksi untuk muka air tanah
$(N_1)_{60}$ = Nilai SPT koreksi untuk tekanan beban berlebih

Perhitungan Daya Dukung Tiang

Daya dukung tiang diperoleh dari penjumlahan antara daya dukung ujung tiang (Rp) dengan daya dukung selimut tiang (Rs) (Abidin et al., 2025). Analisis daya dukung dilakukan menggunakan metode Nakazawa, 2000. Metode Nakazawa dikenal relatif konservatif, terutama pada kondisi tanah pasir, sehingga memberikan tingkat keamanan yang lebih baik dalam perencanaan fondasi (Lestari et al., 2020). Perhitungan daya dukung tiang menurut Nakazawa, 2000 diperoleh melalui persamaan berikut:

$$R_a = \frac{1}{n} \, x \, (q_d \, x \, A) + (U \, x \, \Sigma l_i \, x \, f_i) \quad \text{..... (5)}$$

Keterangan:

q_d = Daya dukung terpusat tiang (ton)
A = Luas penampang ujung tiang (m^2)
U = Panjang keliling tiang (m)
l_i = Tebal lapisan tanah dengan
fi = Besarnya gaya geser maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang (ton/m^2)

Pembebanan dengan *Software* Analisis dan Desain Struktur

Analisis pembebanan dilakukan menggunakan *software* analisis dan desain struktur untuk memperoleh respons struktur terhadap beban yang bekerja. *Software* ini memungkinkan untuk mensimulasikan perilaku struktur terhadap beban mati, beban hidup, angin, gempa, serta beban lainnya sebelum konstruksi dilaksanakan (Sapulete, 2021). Output utama yang diperoleh berupa gaya aksial tiang (P), gaya geser tiang (V), dan momen lentur (M) pada titik perletakan.

Pemodelan Geoteknik

Pemodelan geoteknik dilakukan menggunakan metode elemen hingga untuk menganalisis respons dari tanah dengan tiang terhadap beban yang bekerja (Tampubolon & Cynthia Hasibuan, 2024). Hasil analisis berupa besarnya penurunan yang terjadi pada masing-masing variasi tiang, yang selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi kinerja fondasi dan memverifikasi bahwa nilai penurunan yang terjadi masih memenuhi batas izin yang ditetapkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Koreksi N-SPT

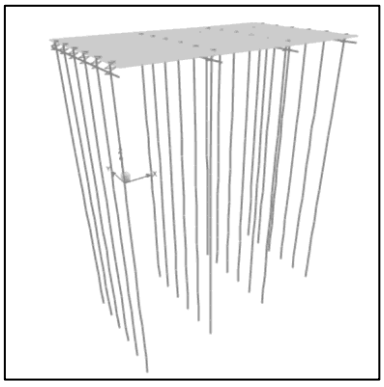
Hasil dari koreki N-SPT pada tiap kedalaman ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2. Hasil Koreksi N-SPT

Kedalaman -m	N-SPT	N Pakai
1,5	2	2,33
3,5	5	5,83
5,5	5	7,22
7,5	10	14,58
9,5	15	18,54
11,5	24	25,31
13,5	34	32,92
15,5	35	40,83
17,5	42	35,14
19,5	54	43,15
21,5	50	40,63
23,5	41	34,79
25,5	49	40,24
27,5	47	39,03
29,5	50	41,17
31,5	35	31,20
33,5	38	33,36
35,5	49	40,99
37,5	50	41,81
39,5	40	35,09

Analisis Pembebanan Struktur

Hasil pemodelan yang dilakukan menggunakan *software* analisis dan desain struktur ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 1. Hasil Pemodelan Jembatan *Slab On Pile*

Hasil output analisis pembebanan struktur menggunakan *software* analisis dan desain ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 3. Hasil Output Analisis Pembebanan

No.	Diameter	Jumlah Tiang	P	V	M
	cm		kN	kN	kNm
1.	50	6	1369,431	-19,015	102,066
2.	60	6	1427,453	-34,960	158,980
3.	80	5	1804,174	-48,747	275,520

Analisis Daya Dukung Tiang

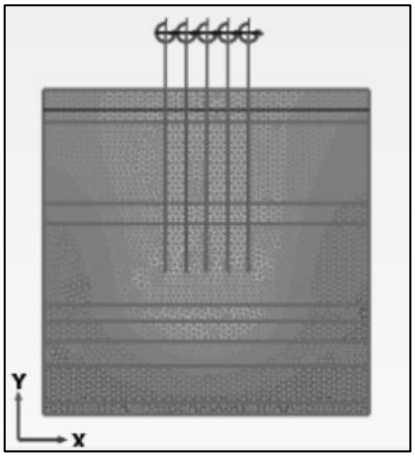
Analisis daya dukung tiang pancang dilakukan untuk mengevaluasi kapasitas tiang dalam menahan beban aksial (P) yang bekerja, yang diperoleh dari hasil analisis pembebanan struktur. Analisis daya dukung yang dilakukan menggunakan 3 variasi diameter tiang pancang yang berbeda untuk mengetahui optimasi diameter yang paling efektif dan efisien. Hasil dari perhitungan daya dukung tiang menggunakan metode nakazawa dengan diameter 50 cm, diameter 60 cm, dan diameter 80 cm ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4. Daya Dukung Tiang D50

Diameter	Kedalaman	Rp	Rf	Ra
cm	m	kN	kN	kN
50	21,5	1295,5	1925,7	1288,5
60	19,5	1860,4	2004,7	1546
80	15,5	3123,2	1886,4	2003,8

Analisis Penurunan Berbasis Metode Elemen Hingga

Analisis penurunan dari fondasi tiang pancang dilakukan dengan metode elemen hingga untuk mengevaluasi besarnya deformasi vertikal yang terjadi akibat pembebanan struktur. Hasil analisis ini bertujuan untuk mengetahui kinerja masing-masing variasi diameter tiang dalam mengontrol penurunan serta memastikan bahwa nilai penurunan yang terjadi masih berada dalam batas izin yang diperkenankan. Hasil dari simulasi penurunan fondasi tiang pancang diameter 80 cm pada struktur *slab on pile* berbasis metode elemen hingga ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2. Pemodelan Tiang Berbasis FEM

Nilai dari hasil penurunan masing-masing variasi tiang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 7. Hasil Output Penurunan Tiang

No.	Diameter	Jumlah	Kedalaman	Penurunan
	cm	Tiang	m	mm
1	50	6	21,5	24,23
2	60	6	19,5	26,76
3	80	5	15,5	25,41

Berdasarkan hasil analisis tersebut, hasil penurunan dari semua variasi diameter yang digunakan memenuhi batas izin penurunan yang disyaratkan menurut AASHTO LRFD *4th Edition,* dimana batas izin penurunan fondasi tiang pada jembatan maksimum bernilai 50 mm. Pada variasi diameter 50 cm (D50) dengan jumlah tiang 6 buah dan kedalaman 21,5 m, diperoleh penurunan sebesar 24,23 mm. Nilai ini merupakan yang paling kecil dibandingkan variasi lainnya, meskipun diameter tiang relatif kecil. Hal ini disebabkan oleh kedalaman tiang yang lebih dalam sehingga mampu menjangkau lapisan tanah yang lebih kaku, serta beban aksial yang relatif lebih kecil sehingga deformasi yang terjadi dapat diminimalkan.

Pada variasi diameter 80 cm, nilai penurunan tercatat lebih kecil yaitu 25,41 mm dibandingkan dengan diameter 60 cm sebesar 26,76 mm, meskipun memiliki kedalaman yang paling dangkal sebesar 15,5 m. Kondisi ini terjadi karena pada pemodelan dengan metode elemen hingga, beban yang bekerja pada konfigurasi diameter 80 cm hanya terdistribusi pada 5 titik tiang, berbeda dengan konfigurasi diameter 50 cm dan 60 cm yang memikul beban pada 6 titik tiang. Pengurangan jumlah titik pembebanan ini secara langsung menurunkan total intensitas beban kerja yang diterima oleh sistem pondasi dalam model, sehingga menghasilkan deformasi vertikal yang lebih rendah dibandingkan konfigurasi dengan jumlah titik yang lebih banyak.

Hasil Komparasi Desain Eksisting dan Optimasi Desain

Hasil komparasi antara desain eksisting dan optimasi desain ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 8. Hasil Komparasi Desain Fondasi

Desain	Diameter (cm)	Jumlah Tiang (buah)	Kedalaman (m)	P (ton)	Qall (ton)	PDA (ton)	Keterangan
Eksisting	60	5	15,5	166,60	126,86	137	Tidak Memenuhi
Optimasi	80	5	15,5	180,42	200,38	216	Memenuhi

Berdasarkan hasil analisis, desain eksisting dengan diameter 60 cm (D60) menunjukkan bahwa daya dukung rencana sebesar 160 ton tidak tercapai pada pengujian lapangan, dimana hasil *Pile Driving Analyzer* (PDA) hanya sebesar 137 ton. Selain itu, dari perhitungan berbeda menggunakan metode Nakazawa, diperoleh daya dukung tiang sebesar 126 ton. Sedangkan hasil analisis pemodelan dengan *software* analisis dan desain struktur menunjukkan beban aksial yang bekerja pada tiang sebesar 166,6 ton. Nilai ini semakin menegaskan bahwa kapasitas tiang lebih kecil dibandingkan beban yang diterima, sehingga kondisi eksisting tidak memenuhi persyaratan keamanan. Pada desain optimasi dengan diameter 80 cm (D80) dan kedalaman yang sama, diperoleh daya dukung analitis sebesar 200,38 ton dengan beban aksial sebesar 180,42 ton. Nilai PDA juga diproyeksikan sebesar 216 ton berdasarkan rasio terhadap kondisi eksisting. Hasil ini menunjukkan bahwa kapasitas daya dukung telah melampaui beban yang bekerja, sehingga desain optimasi dinyatakan aman dan memenuhi kriteria perencanaan

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan diameter tiang menyebabkan kenaikan gaya dalam yang bekerja. Pada variasi D50 (6 tiang) diperoleh gaya aksial sebesar 1369,43 kN, gaya geser -19,015 kN, dan momen 102,066 kNm. Pada D60 (6 tiang), gaya aksial meningkat menjadi 1427,453 kN, gaya geser -34,96 kN, dan momen 159,98 kNm. Sementara itu, pada D80 (5 tiang), diperoleh gaya aksial terbesar sebesar 1804,174 kN, gaya geser -48,747 kN, dan momen 275,52 kNm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar diameter dan semakin sedikit jumlah tiang, maka beban yang dipikul tiap tiang menjadi lebih besar dan kondisi pembebanan menjadi lebih kritis. Hasil Penurunan menunjukkan bahwa D50 menghasilkan penurunan terkecil sebesar 24,23 mm pada kedalaman 21,5 m. Variasi D60 menghasilkan penurunan terbesar sebesar 26,76 mm pada kedalaman 19,5 m. Sedangkan D80 menghasilkan penurunan sebesar 25,41 mm pada kedalaman 15,5 m. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan lebih dipengaruhi oleh besarnya beban dan kedalaman tiang dibandingkan hanya diameter, di mana peningkatan beban dan kedalaman yang lebih dangkal menyebabkan deformasi yang lebih besar.

Berdasarkan hasil evaluasi menyeluruh terhadap pembebanan, daya dukung, dan penurunan, variasi diameter 80 cm (D80) merupakan alternatif desain yang paling optimal. Hal ini ditunjukkan oleh kapasitas daya dukung sebesar 2003,8 kN terhadap gaya aksial 1804,17 kN, yang memberikan margin keamanan lebih besar dibandingkan variasi lainnya. Pada diameter 60 cm (D60), daya dukung yang diperoleh sebesar 1546 kN dengan

beban aksial 1427,45 kN, sedangkan pada kondisi eksisting bahkan lebih rendah, yaitu sekitar 1260 kN. Sementara itu, pada diameter 50 cm (D50), daya dukung sebesar 1369,43 kN hanya sedikit di atas beban aksial 1216,17 kN, sehingga memiliki margin keamanan yang relatif kecil. Secara keseluruhan, semakin besar diameter tiang pancang, maka luas penampang dan kekakuan aksial meningkat, sehingga mampu menahan beban lebih besar dan memberikan distribusi beban yang lebih efektif. Oleh karena itu, diameter 80 cm memberikan tingkat keandalan paling tinggi dibandingkan variasi diameter lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, A. Z., Alhabsyi, I., Purnamawati, D. S., & Farichah, H. (2025). *Studi Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang dengan Variasi Dimensi pada Struktur Jembatan* (Vol. 22).

Hasibuan, Y. Z., Maulani, E., & Chandra, Y. (2025). Pengaruh Penambahan Variasi Beban Terhadap Penurunan Pondasi Tiang Pancang (Studi Kasus: Jembatan Aek Pardamean Baru Kabupaten Mandailing Natal). *Jurnal Teknik Sipil Dan Teknologi*, *1*. https://doi.org/10.29103/jrst.v1i1.25262

Hong, X., Xiaoping, G., & Song, Y. (2013). Static Analysis of the Interaction Among Soil, Slab and Piles in Pile-Slab Structure. In *Sensors & Transducers* (Vol. 154). http://www.sensorsportal.com

Karyatama, C. C., Despa, D., Widyawati, R., Habibi, B. M., & N.S, M. (2025). Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Pengujian Sondir dan Kalendering pada Jembatan Talang Air Panemangan. *Jurnal Profesi Insinyur Universitas Lampung*, *6*(1). https://doi.org/10.23960/jpi.v6n1.167

Lenita, H., Prihatiningsih, A., & Leman, S. (2025). Komparasi Aksial Tiang Pancang Dengan Metode Empiris Dan Intepretasi Loading Test Proyek Di Dua Lokasi. In *Agustus* (Vol. 8, Number 3). https://doi.org/10.24912/jmts.v8i3.34157

Lestari, L. L., Propika, J., & Puspasari, A. D. (2020). Axial Bearing Capacity Analysis of Pile Foundation Using Nakazawa Method. *Jurnal IPTEK*, *24*, 45–52. https://doi.org/10.31284/j.iptek.2020.v24i1.900

Manika, I. R. (2024). Analisis Fondasi Tiang Pancang pada Struktur Slab on Pile Proyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen.

Muthmainnah, M. (2021). Analisis Kapasitas Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang Dengan Variasi Dimensi. https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/31679

Prima, S., Santoso, I. B., & Setyarini, J. A. (2019). STUDI N-SPT MENGENAI DAYA DUKUNG TIANG PANCANG PADA KONSTRUKSI PILE SLAB PROYEK JALAN TOL JAKARTA-KUNCIRAN-CENGKARENG. In *Jurnal Mitra Teknik Sipil* (Vol. 1, Number 2). https://doi.org/10.24912/jmts.v2i4.6175

Sapulete, C. (2021). Analisis Pembebanan Jembatan Menggunakan Standar Pembebanan SNI 1725:2016 (Studi Kasus: Jembatan di Kabupaten Pegunungan Arfak). *Jurnal Portal Sipil*, *9*, 24–30.

Septiandri, R. A., Mualida, F., Arti, N., Nurtjahjaningtyas, I., Putra, P. P., Rohadi, S., Prasetyo, B., Jurusan,), & Sipil, T. (2025). Jurnal Teknik Sipil : Rancang Bangun Analysis Of Pile Diameter Variations In The Design Of Apartment Building Foundations. *Jurnal Teknik Sipil*, *11*, 98–108. https://doi.org/10.33506/rb.v11i02.4121

Shinder, Jason., O'Keefe, Michael., & Taylor, Lili. (2020). *Rasio Hubungan Nilai Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Pengujian Sondir, dan Tes PDA Pada Jembatan Pelawa Kabupaten Parigi Moutong*. Jurnal Infrastruktur.

Tampubolon, G., & Cynthia Hasibuan, G. R. (2024). Analisis Daya Dukung & Penurunan Bored Pile 80cm di Proyek Kompleks Kantor-Apartemen dengan Metode Analitis & Elemen Hingga. *Jurnal Syntax Admiration*, *5*, 1250–1265. https://doi.org/10.46799/jsa.v5i4.1102

Yatnikasari, S., Siregar, A. C., Azis, M. R., & Kusuma, C. (2022). Perencanaan Ulang Pondasi Tiang Pancang Pada Bangunan Gedung Control Room Di Kalimantan Timur. *Rang Teknik Journal*, *5*(2), 204–212. https://doi.org/10.31869/rtj.v5i2.3019

Zakahfi, A. T., & Kusumawardani, R. (2018). Perbandingan Analisa Daya Dukung Tiang Pancang Menggunakan Metode Perhitungan L. Decourt Dan Tes Pda. https://doi.org/10.26623/teknika.v13i1.724

Zakki Rizal Hidayat, M., Irfan Marasabessy, M., Fadlan Alhamid, M., Nur Rohman, W., Rafiqa Putri, M., Faried Hanafi, N., & Irfan Marasabessy, M. (2024). *Evaluasi Daya Dukung Aksial Pondasi Tiang Pancang Pada Tanah Lempung di Jakarta Timur* (Vol. 4, Number 1). http://hdl.handle.net/123456789/56277