



Analisis Pengaruh Desain Minipile Terhadap Daya Dukung Tanah Lanau Kelempungan di Jalan Raya Pakal

Muhammad Aljabar¹, Rendra Ibnu Abdillah², Achmad Dzulfiqar Alfiansyah³^{1,2,3}Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, Indonesia^{*}Corresponding authorE-mail addresses: 22035010123@student.upnjatim.ac.id

ARTICLE INFO**Article history:**

Received October 15, 2025

Revised December 20, 2025

Accepted January 05, 2026

Available online January 08, 2026

Kata Kunci:

Minipile; Daya Dukung Tanah; Lanau Kelempungan; SPT; Investigasi Tanah; Jalan Raya Pakal.

Keywords:

Minipile; Bearing Capacity; Silty Clay; SPT; Soil Investigation; Jalan Raya Pakal.



This is an open access article under the [CC BY-SA license](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).
Copyright © 2026 by Author. Published by Yayasan Sagita Akademia Maju.

ABSTRAK

Kondisi tanah pada segmen Jalan Raya Pakal didominasi oleh lapisan lanau kelempungan dengan nilai daya dukung tanah yang relatif rendah. Data investigasi tanah pada titik B1 menunjukkan bahwa lapisan tanah dari kedalaman 0 hingga -20 meter terdiri atas lanau kelempungan dengan variasi kandungan pasir dan lanau, serta nilai N-SPT berkisar dari 6-49 yang mengindikasikan konsistensi tanah sangat lunak hingga sedang. Kondisi ini menimbulkan risiko penurunan (settlement) dan ketidakstabilan pada konstruksi jalan, sehingga diperlukan sistem perkuatan fondasi seperti minipile. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh desain minipile terhadap peningkatan daya dukung tanah lanau kelempungan berdasarkan parameter geoteknik hasil uji SPT, analisis gradasi, Atterberg limit, uji geser langsung, serta perhitungan daya dukung tiang menggunakan metode Decourt. Perhitungan dilakukan untuk variasi diameter minipile 400 mm, 500 mm, dan 600 mm pada kedalaman hingga 20 meter. Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan diameter tiang memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kapasitas daya dukung, di mana daya dukung ultimate (QL) mencapai 340,7 ton untuk diameter 400 mm, 448,3 ton untuk diameter 500 mm, dan 564,8 ton untuk diameter 600 mm pada kedalaman 20 meter. Temuan ini menunjukkan bahwa

pemasangan minipile dapat meningkatkan stabilitas struktur jalan pada tanah lanau kelempungan di Jalan Raya Pakal. Penggunaan diameter tiang yang lebih besar menghasilkan peningkatan daya dukung yang lebih tinggi, sehingga dapat menjadi rekomendasi desain fondasi untuk perkerasan jalan pada area dengan kondisi tanah serupa.

ABSTRACT

The subgrade condition along Jalan Raya Pakal is dominated by silty clay layers with relatively low bearing capacity, as indicated by the soil investigation at boring point B1. The subsurface profile consists of silty clay with varying sand content from 0 to -20 meters, accompanied by Standard Penetration Test (SPT) values ranging from 6 to 49, which reflect very soft to medium soil consistency. Laboratory tests also show moderate to high plasticity and significant compressibility, conditions that may adversely affect pavement performance and lead to excessive settlement. To address these issues, the application of minipile foundations is proposed as a reinforcement method to improve soil bearing capacity. This study aims to analyze the influence of minipile design on the bearing capacity of silty clay soils using geotechnical parameters from SPT results, grain size distribution, Atterberg limits, direct shear tests, and soil density measurements. The bearing capacity of minipiles with diameters of 400 mm, 500 mm, and 600 mm was calculated using the Decourt method, with depths extending up to 20 meters. The results show that a larger pile diameter significantly increases the ultimate bearing capacity, with values reaching 340.7 tons for 400 mm, 448.3 tons for 500 mm, and 564.8 tons for 600 mm piles at a depth of 20 meters. These findings confirm that minipile installation effectively enhances subgrade stability in areas underlain by silty clay, such as Jalan Raya Pakal. Furthermore, the study

demonstrates that pile diameter plays an important role in bearing capacity improvement, providing valuable insights for foundation design and pavement reinforcement in similar geotechnical conditions.

1. PENDAHULUAN

Jalan Raya Pakal merupakan salah satu infrastruktur transportasi yang penting di wilayah Surabaya Barat, sehingga kestabilan perkerasan jalannya harus didukung oleh kondisi tanah yang memadai. Berdasarkan hasil penyelidikan tanah (soil investigation) pada titik boring B1, diketahui bahwa lapisan tanah setempat didominasi oleh lanau kelempungan dengan kandungan pasir relatif kecil. Nilai N-SPT pada kedalaman 0 hingga -20 meter berkisar antara 6 hingga 49, menunjukkan kondisi tanah yang bervariasi dari lunak hingga sedang. Selain itu, hasil uji laboratorium menunjukkan karakteristik plastisitas yang cukup tinggi dan batas cair (liquid limit) yang mencapai lebih dari 40%, mengindikasikan potensi kompresibilitas yang besar. Kondisi tersebut dapat menyebabkan penurunan tanah (settlement) dan ketidakstabilan terhadap struktur jalan.

Jenis tanah lanau kelempungan umumnya memiliki daya dukung rendah sehingga tidak cukup kuat untuk menopang beban perkerasan jalan yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan upaya perbaikan tanah atau penambahan struktur fondasi dalam untuk meningkatkan daya dukung serta mengurangi risiko deformasi. Salah satu metode perkuatan yang efektif adalah penggunaan minipile, yaitu tiang berdiameter kecil yang dipancang untuk mentransfer beban ke lapisan tanah yang lebih kuat di kedalaman tertentu.

Hasil perhitungan daya dukung tiang berdasarkan data SPT dari penyelidikan tanah menunjukkan bahwa kapasitas daya dukung tiang meningkat secara signifikan seiring bertambahnya diameter minipile. Hal ini menunjukkan bahwa variasi desain minipile berpengaruh langsung terhadap besarnya daya dukung tanah, sehingga penting untuk menentukan diameter dan kedalaman tiang yang optimum. Berdasarkan kondisi tersebut, rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah:

- 1) Bagaimana karakteristik tanah lanau kelempungan di Jalan Raya Pakal berdasarkan hasil boring, SPT, dan uji laboratorium?
- 2) Bagaimana kapasitas daya dukung tanah terhadap minipile dengan variasi diameter 400 mm, 500 mm, dan 600 mm?
- 3) Seberapa besar pengaruh desain minipile terhadap peningkatan daya dukung tanah lanau kelempungan?

Penelitian ini bertujuan untuk:

- 1) Mengidentifikasi sifat fisis dan mekanis tanah lanau kelempungan berdasarkan data soil investigation B1.
- 2) Menghitung daya dukung ultimate minipile menggunakan metode Decourt berdasarkan nilai N-SPT.
- 3) Menganalisis pengaruh variasi diameter minipile terhadap peningkatan daya dukung tanah pada Jalan Raya Pakal.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa:

- 1) Rekomendasi teknik perkuatan fondasi untuk perkerasan jalan pada tanah lanau kelempungan.
- 2) Informasi mengenai desain minipile yang efektif berdasarkan kondisi tanah setempat.
- 3) Referensi bagi perencana dan instansi terkait dalam pengembangan struktur jalan pada daerah dengan karakteristik tanah serupa.

2. METODE

lokasi dan data penyelidikan tanah

Data geoteknik bersumber dari bor tanah titik B1 pada Jalan Raya Babat Jerawat – Jalan Raya Pakal. Pengujian yang dilakukan meliputi:

- 1) Boring hingga kedalaman 20 m
- 2) Uji SPT setiap interval $\pm 2,5$ meter
- 3) Uji laboratorium: Analisa gradasi, Atterberg limit, direct shear, berat volume tanah, ucs

Hasil menunjukkan bahwa profil tanah 0-20 m didominasi lanau kelempungan (silty clay) dengan plastisitas sedang-tinggi. metode analisis yang kami pakai yaitu menggunakan analisis karakteristik tanah parameter yang kami analisis yaitu nilai nspt tiap kedalaman, sudut geser dalam ϕ dari direct shear, kuat geser tak terdrain (S_u), indeks plastisitas (PI), jenis tanah berdasarkan USCS lalu metode perhitungan yang kami gunakan Adalah metode Decourt untuk menghitung kapasitas

- 1) Q_p = daya dukung ujung
- 2) Q_s = daya dukung selimut
- 3) Q_L = ultimate bearing capacity
- 4) $Q_a = Q_L / 3$ (faktor keamanan)

Minipile yang kami analisis ada 3 variasi diameter yaitu $\varnothing 400$ mm, $\varnothing 500$ mm, $\varnothing 600$ mm dan 2 model desain yaitu before redesain dan after redesain

Before redesign \rightarrow diameter kecil (300–400 mm), kedalaman pendek (10 m)

After redesign \rightarrow diameter besar (500–600 mm), kedalaman mencapai (20 m).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Analisis

Karaktersistik tanah

Kedalaman(m)	Jenis tanah	N-SPT
0-5	Lanau kelempungan sangat lunak	6-12
5-10	Lanau kelempungan lunak	12-16
	Lanau kelempungan dengan konsistensi sedang	
10-15		30-39
15-20	Lanau kelempungan lebih padat	46-49

Sumber:(Dinas Pekerjaan Umum Kota Surabaya 2024)

Interpretasi

- 1) Lapisan kuat baru muncul setelah kedalaman 12 meter
- 2) Lapisan 0-10 m tidak cocok menahan beban tiang
- 3) Kedalaman optimum tiang minimal 17.5-20 m

Daya dukung minipile

diameter	QL(ton)	QA(ton)
Ø400 mm	340.7	113.6
Ø500 mm	448.3	149.4
Ø600 mm	564.8	188.2
Ø400 mm	340.7	113.6

Sumber:(Dinas Pekerjaan Umum Kota Surabaya 2024)

Daya dukung minipile (sebelum redesain)

Asumsi desain awal:

- 1) Diameter: 300-350 mm
- 2) Kedalaman: 10 m
- 3) Tanah di ujung berada pada N-SPT \approx 16

Hasil perhitungan desain awal:

- 1) $Q_p \approx 28-32$ ton
- 2) $Q_s \approx 60-80$ ton
- 3) Q_L total $\approx 90-110$ ton
- 4) Q_a (izin) $\approx 30-37$ ton

Kesimpulan hasil awal sebelum redesain yaitu desain tidak memenuhi kebutuhan beban, resiko penurunan sangat besar, minipile tidak mencapai lapisan kuat ($N > 30$)

Pengaruh karakter tanah terhadap perencanaan minipile

Hasil investigasi menunjukkan Tanah di kedalaman 0-10 m adalah lanau kelempungan sangat kompresibel, daya dukung rendah tidak cocok untuk pondasi dangkal, Kedalaman >12 m memiliki N-SPT tinggi baru dapat dipakai sebagai bearing stratum.

Kesimpulannya adalah desain minipile harus menembus tanah lunak atas agar efektif dan Perbandingan desain minipile sebelum dan sesudah redesain

Diameter tiang

kondisi	diameter	QL(ton)
Sebelum redesign	300-350 mm	90-110
Sesudah redesign	500-600 mm	448-564

(Dinas Pekerjaan Umum Kota Surabaya 2024)

Kedalaman tiang

kondisi	kedalaman	Zona ujung	N-SPT
Sebelum	10 m	Lunak-sedang	16
Sesudah	17.5-20 m	Padat	39-49

(Dinas Pekerjaan Umum Kota Surabaya 2024)

Kedalaman awal gagal mencapai lapisan keras dan kapasitasnya rendah

Alasan mengapa minipile harus di redesain

Alasan pertama yaitu tanah lempung lunak sangat kompresibel $N\text{-SPT} < 10$ menghasilkan: gaya geser kecil, konstanta tanah rendah, penurunan besar dan tidak seragam. Alasan kedua yaitu desain tiang lama tidak menyentuh lapisan kuat Tiang 10 m hanya mencapai lapisan $N=16$, Alasan ketiga yaitu diameter kecil tidak mencukupi area penahanan A_p (luas ujung tiang) meningkat persegi terhadap diameter (efek signifikan). Alasan keempat yaitu kinerja jalan membutuhkan ketahanan lebih tinggi. Jalan arteri memerlukan daya dukung pondasi ≥ 120 ton (izin).

Desain lama hanya mampu 30-37 ton.

Bukti perhitungan yang mendukung redesain

Perbandingan Kapasitas (QL):

- 1) Desain lama ($\varnothing 300\text{-}350$ mm, 10 m): 90-110 ton
- 2) Redesain ($\varnothing 600$ mm, 20 m): 564 ton

Kenaikan kapasitas:

- 1) $\varnothing 500 \rightarrow$ naik 406%
- 2) $\varnothing 600 \rightarrow$ naik 513%

Kesimpulan:

Minipile perlu di-custom karena diameter & kedalaman sangat menentukan kemampuan tiang untuk mencapai lapisan kuat, dan karena desain awal gagal secara teknis.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi tanah lanau kelempungan di Jalan Raya Pakal memiliki karakteristik daya dukung yang rendah dan kompresibilitas tinggi, terutama pada kedalaman 0-10 m dengan nilai $N\text{-SPT} < 10$. Kondisi ini sejalan dengan teori geoteknik yang menyatakan bahwa tanah lanau dan lempung lunak memiliki kuat geser rendah serta berpotensi menimbulkan penurunan besar apabila dibebani langsung oleh struktur jalan tanpa perkuatan fondasi dalam (Meyerhof, 1976; Sukirman, 1999). Oleh karena itu, penggunaan minipile menjadi solusi yang tepat untuk mentransfer beban ke lapisan tanah yang lebih keras di kedalaman tertentu.

Analisis daya dukung menggunakan metode Decourt menunjukkan bahwa peningkatan diameter minipile memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kapasitas daya dukung ultimate. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya luas ujung tiang (end bearing) dan luas selimut (skin friction) yang berbanding lurus dengan diameter dan kedalaman tiang (Decourt, 1982; Hara, 1974). Hasil penelitian ini konsisten dengan temuan Putra dan Sari (2020) yang menyatakan bahwa variasi diameter tiang merupakan faktor dominan dalam peningkatan daya dukung fondasi dalam, khususnya pada tanah lunak hingga sedang.

Perbandingan antara desain awal dan desain hasil redesain menunjukkan bahwa minipile dengan diameter kecil dan kedalaman dangkal tidak mampu mencapai lapisan tanah dengan nilai $N\text{-SPT}$ tinggi, sehingga kapasitas dukungnya

tidak memenuhi kebutuhan beban jalan arteri. Sebaliknya, redesain dengan diameter 500–600 mm dan kedalaman hingga 17,5–20 m mampu mencapai lapisan tanah padat ($N\text{-SPT} > 30$) dan meningkatkan kapasitas daya dukung hingga lebih dari empat kali lipat. Temuan ini memperkuat pendapat Wicaksono dan Pratama (2021) bahwa pemilihan kedalaman tiang yang mencapai bearing stratum merupakan faktor kunci dalam efektivitas fondasi tiang berdasarkan data SPT.

Dengan demikian, hasil penelitian menegaskan bahwa desain minipile harus disesuaikan secara spesifik terhadap karakteristik tanah setempat. Pendekatan redesain yang mempertimbangkan diameter dan kedalaman tiang secara optimal terbukti mampu meningkatkan stabilitas perkerasan jalan dan meminimalkan risiko penurunan diferensial. Temuan ini relevan sebagai dasar perencanaan fondasi jalan pada wilayah dengan kondisi tanah lanau kelempungan serupa, serta mendukung penerapan metode Decourt sebagai pendekatan praktis dan andal dalam estimasi daya dukung tiang berbasis data SPT.

4. SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa kondisi tanah lanau kelempungan di Jalan Raya Pakal memiliki daya dukung rendah dan tingkat kompresibilitas tinggi, sehingga tidak memadai untuk menopang beban perkerasan jalan tanpa perkuatan fondasi dalam. Desain minipile awal dengan diameter kecil dan kedalaman dangkal terbukti tidak mampu mencapai lapisan tanah keras serta menghasilkan kapasitas daya dukung yang tidak memenuhi kebutuhan teknis. Setelah dilakukan redesain dengan memperbesar diameter minipile menjadi 500–600 mm dan memperdalam tiang hingga mencapai lapisan tanah dengan nilai $N\text{-SPT}$ tinggi, kapasitas daya dukung meningkat secara signifikan dan mampu memenuhi persyaratan beban jalan. Oleh karena itu, penyesuaian desain minipile yang mempertimbangkan karakteristik tanah setempat, khususnya diameter dan kedalaman tiang, merupakan langkah yang sangat penting untuk meningkatkan stabilitas dan kinerja struktur jalan pada daerah dengan kondisi tanah lanau kelempungan.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar perencanaan fondasi jalan pada daerah dengan kondisi tanah lanau kelempungan seperti di Jalan Raya Pakal selalu diawali dengan investigasi tanah yang detail dan menyeluruh, khususnya melalui uji SPT hingga mencapai lapisan tanah keras. Selain itu, desain minipile sebaiknya mempertimbangkan variasi diameter dan kedalaman tiang secara optimal agar mampu menembus lapisan tanah lunak dan mencapai bearing stratum yang memadai, sehingga daya dukung yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan beban konstruksi jalan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan analisis tambahan dengan membandingkan metode perhitungan daya dukung lain serta mempertimbangkan pengaruh beban lalu lintas dinamis dan penurunan jangka panjang guna memperoleh desain fondasi yang lebih aman dan berkelanjutan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Decourt, L. (1982). *Prediction of load capacity of piles based on the SPT*. In *Proceedings of the 2nd European Symposium on Penetration Testing (ESOPT II)* (pp. 29-34).
- Hara, T. (1974). *Bearing capacity of piles from SPT values*. Proceedings of the Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 189-197.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement analysis and design* (2nd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Meyerhof, G. G. (1976). Bearing capacity and settlement of pile foundations. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 102(3), 195-228.
- Putra, A., & Sari, D. (2020). Analisis pengaruh diameter tiang terhadap daya dukung pondasi dalam. *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, 27(2), 123-130.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan lentur jalan raya*. Nova.
- Wicaksono, B., & Pratama, A. (2021). Evaluasi daya dukung tanah berdasarkan nilai SPT menggunakan metode Decourt. *Jurnal Infrastruktur*, 8(1), 15-22