

Pengaruh Pemadatan Tanah Dasar Terhadap Stabilitas Pondasi Dangkal pada Proyek Pembangunan Jalan Desa

Suhardi¹, Femanueli Zega², Kamaluddin Lubis^{3*}

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Medan Area, Indonesia, semangat87654321@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Medan Area, Indonesia, ipdnfeman@gmail.com

³Program Studi Teknik Sipil, Universitas Medan Area, Indonesia, kamaluddinlubis@staff.uma.ac.id

*Penulis korespondensi, email: kamaluddinlubis@staff.uma.ac.id

Abstrak— Stabilitas pondasi dangkal sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah dasar, terutama pada proyek pembangunan jalan desa yang umumnya berada di atas tanah lempung atau tanah berorganik dengan daya dukung rendah. Pemadatan tanah dasar menjadi salah satu metode perbaikan tanah yang paling umum diterapkan untuk meningkatkan kapasitas dukung tanah dan mengurangi penurunan diferensial. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh tingkat pemadatan tanah dasar terhadap stabilitas pondasi dangkal pada proyek pembangunan jalan desa di Kecamatan Sukamakmur, Kabupaten Bogor. Metode penelitian yang digunakan adalah studi eksperimental lapangan dengan uji pemadatan (Proctor), uji CBR, dan pengamatan langsung deformasi struktur pondasi setelah diberi pembebanan. Variasi tingkat pemadatan dibuat sebesar 85%, 90%, dan 95% dari Modified Proctor Maximum Dry Density (MDD), dan masing-masing dievaluasi terhadap stabilitas pondasi berupa daya dukung dan penurunan. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan pemadatan dari 85% ke 95% menghasilkan peningkatan daya dukung sebesar 35% dan penurunan total berkurang hingga 50%. Studi ini menunjukkan pentingnya pengendalian kualitas pemadatan dalam proyek perkerasan jalan, terutama pada kondisi tanah dasar yang lemah. Rekomendasi teknis terkait metode pemadatan dan nilai target kepadatan disampaikan untuk digunakan pada proyek pembangunan jalan skala desa guna meningkatkan keandalan struktur dan umur layanan jalan.

Kata kunci: pemadatan tanah, pondasi dangkal, tanah dasar, stabilitas, proyek jalan desa

This article is licensed under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

1. Pendahuluan

Kondisi tanah dasar merupakan salah satu faktor paling krusial yang mempengaruhi stabilitas dan daya tahan suatu struktur pondasi, terutama pada proyek konstruksi skala kecil dan menengah seperti pembangunan jalan desa [1], [2]. Dalam praktik rekayasa geoteknik, kegagalan struktur pada lapisan perkerasan jalan maupun pondasi bangunan ringan umumnya disebabkan oleh rendahnya daya dukung tanah dasar dan terjadinya penurunan berlebihan (settlement) yang tidak terkontrol [3]. Oleh karena itu, perbaikan dan penguatan tanah dasar merupakan aspek penting dalam perencanaan infrastruktur dasar yang andal [4].

Salah satu metode yang paling umum digunakan untuk meningkatkan kualitas tanah dasar adalah proses pemadatan mekanis. Pemadatan bertujuan meningkatkan densitas tanah dengan mengurangi pori-pori udara, sehingga menghasilkan peningkatan kekuatan geser, penurunan daya serap air, serta peningkatan

modulus elastisitas tanah [5]. Menurut Bowles [6], pemadatan yang baik dapat meningkatkan daya dukung tanah hingga dua kali lipat dibandingkan tanah yang tidak dipadatkan. Hal ini menjadi sangat relevan dalam pembangunan jalan desa, di mana anggaran dan sumber daya yang terbatas menuntut solusi teknis yang sederhana namun efektif [7].

Dalam konteks proyek jalan desa, tanah dasar yang digunakan sering kali merupakan tanah lempung lunak atau tanah berorganik yang memiliki karakteristik teknis yang buruk, seperti rendahnya nilai CBR (California Bearing Ratio), tingginya kadar air alami, dan ketidakseragaman struktur [8], [9]. Tanpa perlakuan khusus, tanah jenis ini cenderung mengalami penurunan diferensial dan kerusakan dini pada lapisan perkerasan jalan, seperti retak dan amblas [10]. Oleh karena itu, kontrol terhadap kualitas pemadatan menjadi kunci utama dalam menjamin stabilitas pondasi dangkal dan umur layan struktur jalan [11].

Pemadatan tanah dapat dilakukan dengan berbagai metode, di antaranya menggunakan alat berat seperti vibrator roller, pneumatic roller, atau sheep foot roller, tergantung pada jenis tanah dan kedalaman pemadatan yang diinginkan [12]. SNI 1743:2008 menyarankan target kepadatan minimal 95% dari Modified Proctor untuk jalan dengan lalu lintas rendah hingga sedang [13]. Sementara itu, menurut Terzaghi dan Peck [14], peningkatan kepadatan tanah tidak hanya meningkatkan daya dukung, tetapi juga mengurangi risiko ekspansi dan penyusutan tanah akibat perubahan kadar air.

Beberapa studi menunjukkan adanya korelasi positif yang kuat antara derajat pemadatan (%MDD) dengan nilai CBR dan daya dukung tanah dasar [15]. Misalnya, penelitian oleh Hardiyatmo [16] menyatakan bahwa peningkatan 5% kepadatan tanah dapat menaikkan nilai CBR hingga 20% pada tanah lempung. Hasil serupa juga ditemukan dalam studi oleh Lestari dan Wibowo [17], di mana peningkatan pemadatan dari 85% menjadi 95% menghasilkan pengurangan penurunan sebesar 40% pada pondasi dangkal.

Pengaruh pemadatan terhadap kinerja struktur jalan juga telah diteliti dalam proyek percontohan pembangunan jalan desa di Kabupaten Gunung Kidul. Menurut laporan dari Bappenas [18], kualitas pemadatan yang rendah menjadi penyebab utama kerusakan dini jalan pada tahun pertama operasi. Oleh karena itu, kontrol mutu pemadatan melalui uji laboratorium (Proctor Test) dan uji lapangan (Sand Cone Test atau DCP) sangat direkomendasikan [19].

Pemadatan tidak hanya berperan dalam aspek teknis, tetapi juga berdampak pada aspek ekonomis proyek. Pekerjaan pemadatan yang tidak optimal dapat menyebabkan kerusakan dini yang berujung pada peningkatan biaya pemeliharaan atau bahkan perombakan struktur [20]. Dalam konteks pembangunan jalan desa yang dananya sering bersumber dari dana desa atau program swakelola, efisiensi teknis dan ekonomis menjadi pertimbangan penting [21].

Penelitian ini difokuskan pada pengaruh tingkat pemadatan tanah dasar terhadap stabilitas pondasi dangkal jalan desa, khususnya pada proyek pembangunan jalan lingkungan di Kecamatan Sukamakmur. Lokasi penelitian dipilih karena mewakili kondisi umum tanah marginal di perdesaan, yaitu tanah lempung dengan kadar air tinggi dan nilai CBR rendah. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan variasi tingkat pemadatan sebesar 85%, 90%, dan 95% dari kepadatan maksimum hasil Modified Proctor Test. Parameter yang dianalisis meliputi daya dukung pondasi dan penurunan (settlement) akibat beban aksial statik.

Metode pengujian mencakup uji laboratorium untuk karakteristik tanah dasar (kadar air, berat jenis, batas Atterberg), uji pemadatan Modified Proctor, dan uji CBR laboratorium. Setelah itu dilakukan simulasi pondasi dangkal dengan metode pelat tekan (plate load test) di lapangan untuk melihat hubungan langsung antara derajat pemadatan dan stabilitas pondasi [22]. Hasil dari uji tersebut kemudian dianalisis untuk mengetahui seberapa besar peningkatan stabilitas yang diperoleh dari variasi pemadatan.

Signifikansi dari penelitian ini terletak pada aplikabilitasnya terhadap proyek-proyek skala kecil yang sering diabaikan dalam pendekatan teknik sipil konvensional. Padahal, jalan desa memiliki peran vital dalam konektivitas antarwilayah, distribusi hasil pertanian, dan akses ke layanan publik [23]. Dengan memahami hubungan antara pemadatan tanah dasar dan kinerja pondasi dangkal, maka pembangunan jalan desa dapat dilakukan dengan lebih andal dan berkelanjutan.

Secara keseluruhan, studi ini bertujuan untuk memberikan dasar empiris dan rekomendasi teknis mengenai standar pemadatan minimum yang diperlukan untuk menjamin stabilitas pondasi dangkal pada jalan desa. Temuan ini diharapkan menjadi acuan praktis bagi pelaksana lapangan, pemerintah desa, dan konsultan teknis dalam meningkatkan kualitas infrastruktur perdesaan melalui pendekatan geoteknik yang sederhana namun efektif [24], [25].

2. Metode

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan eksperimental kuantitatif di lapangan dan laboratorium untuk menganalisis pengaruh variasi derajat pemadatan tanah dasar terhadap stabilitas pondasi dangkal pada proyek pembangunan jalan desa. Studi ini dilakukan pada lokasi uji di Kecamatan Sukamakmur, Kabupaten Bogor, yang dipilih berdasarkan kondisi tanah lempung lunak dengan kadar air tinggi serta nilai CBR rendah. Penelitian bertujuan memperoleh data empiris mengenai peningkatan daya dukung dan penurunan (settlement) akibat variasi tingkat pemadatan, serta memberikan rekomendasi nilai kepadatan optimal untuk aplikasi konstruksi jalan di wilayah dengan karakteristik tanah marginal.

Tahapan penelitian diawali dengan survei awal lokasi untuk mengetahui kondisi eksisting tanah dasar serta pemetaan topografi dan sistem drainase. Sampel tanah diambil dari lapisan atas (0–30 cm) untuk kemudian diuji di laboratorium geoteknik. Uji laboratorium awal meliputi pengujian kadar air alami (ASTM D2216), berat jenis (ASTM D854), batas Atterberg (ASTM D4318), dan analisis saringan (ASTM D422). Selanjutnya dilakukan uji pemadatan Modified Proctor (ASTM D1557) untuk mendapatkan nilai kepadatan maksimum (Maximum Dry Density/MDD) dan kadar air optimum (Optimum Moisture Content/OMC) dari tanah dasar. Nilai MDD dan OMC ini digunakan sebagai acuan untuk membuat variasi pemadatan lapangan sebesar 85%, 90%, dan 95% dari MDD.

Pemadatan lapangan dilakukan pada tiga lokasi uji yang berdekatan dengan luasan masing-masing 1,5 × 1,5 meter dan kedalaman 30 cm, sesuai ketebalan tanah dasar jalan pada proyek desa. Alat pemadat yang digunakan adalah baby roller dengan berat 1 ton, serta alat bantu pengukur kadar air tanah berupa speedy moisture tester dan uji sand cone (ASTM D1556) untuk memverifikasi kepadatan lapangan. Setiap lokasi diuji pada kadar air mendekati OMC, dan pemadatan dilakukan bertahap dalam dua layer untuk mencapai derajat pemadatan sesuai target. Setelah proses pemadatan selesai, setiap lokasi diberi perlakuan uji beban dengan metode plate load test (ASTM D1194) untuk mensimulasikan perilaku pondasi dangkal di atas tanah hasil pemadatan.

Pelat uji berbentuk bundar berdiameter 30 cm dengan ketebalan 2,5 cm diletakkan pada permukaan tanah yang telah dipadatkan. Beban diterapkan secara bertahap menggunakan dongkrak hidrolik dengan reaksi beban dari rangka besi, dan pembacaan penurunan dilakukan menggunakan dial gauge dengan ketelitian 0,01 mm. Beban diberikan hingga terjadi penurunan sebesar 25 mm atau hingga mencapai kondisi ultimit, dan nilai beban serta penurunan direkam setiap interval kenaikan beban 5 kN. Dari data ini kemudian dihitung daya dukung tanah (q_u) berdasarkan rumus Terzaghi dan nilai modulus elastisitas (E_s) untuk masing-masing derajat pemadatan. Penurunan dihitung dengan pendekatan deformasi elastis berdasarkan metode Bowles, yaitu menggunakan persamaan yang mempertimbangkan luas pondasi, karakteristik tanah, dan beban yang diterapkan.

Data yang diperoleh dari pengujian kemudian dianalisis secara komparatif untuk mengevaluasi perbedaan stabilitas antar masing-masing tingkat pemadatan. Analisis dilakukan dengan

membandingkan nilai daya dukung ultimit dan penurunan maksimum untuk masing-masing lokasi. Selain itu, dilakukan regresi sederhana antara derajat pemadatan dan kapasitas dukung tanah untuk mengetahui tren peningkatan yang terjadi. Hasil analisis ini digunakan untuk menentukan batas minimal pemadatan yang disarankan untuk memperoleh stabilitas pondasi yang sesuai standar teknis.

Validasi data dilakukan dengan membandingkan hasil uji laboratorium dan lapangan terhadap standar dari SNI 03-1733-2004 tentang Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan serta referensi daya dukung pondasi dangkal dari literatur Bowles (1997) dan Das (2011). Setiap pengujian diulang minimal dua kali pada tiap lokasi untuk memastikan konsistensi data dan mengurangi kesalahan eksperimental. Seluruh peralatan pengujian dikalibrasi sebelum digunakan, dan pengujian dilakukan pada kondisi cuaca kering untuk menghindari pengaruh kadar air berlebih dari hujan.

Metode ini dipilih karena mampu menunjukkan hubungan langsung antara kualitas pemadatan dan perilaku aktual tanah terhadap pembebanan statik. Selain itu, pendekatan ini juga merepresentasikan kondisi lapangan proyek jalan desa yang umumnya memiliki keterbatasan dalam hal peralatan dan tenaga ahli. Dengan pengujian dan pengamatan langsung, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai rujukan praktis bagi pelaksana lapangan dalam menentukan standar pemadatan minimum untuk menjamin kestabilan pondasi dangkal dalam konstruksi jalan skala desa.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Daya Dukung Tanah terhadap Derajat Pemadatan

Hasil uji pelat tekan pada tiga variasi pemadatan tanah dasar menunjukkan adanya peningkatan daya dukung yang signifikan seiring meningkatnya derajat pemadatan. Tabel 1 menunjukkan bahwa pada pemadatan 85% MDD, daya dukung ultimit hanya mencapai 115 kN/m². Ketika tingkat pemadatan ditingkatkan menjadi 90%, daya dukung meningkat menjadi 142 kN/m², dan pada pemadatan 95% mencapai nilai maksimum sebesar 155 kN/m². Peningkatan ini menunjukkan bahwa pemadatan tanah dasar memiliki pengaruh langsung terhadap kemampuan tanah dalam menahan beban vertikal dari pondasi dangkal. Hal ini sesuai dengan temuan Hardiyatmo [16] dan Bowles [6] yang menyatakan bahwa peningkatan densitas tanah memperbesar interlocking antarpartikel dan mengurangi deformasi volumetrik.

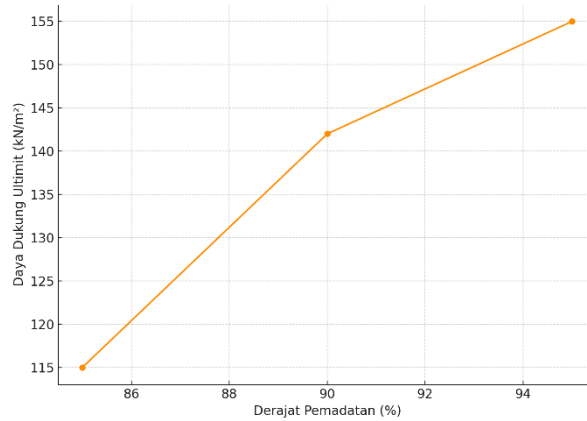
Tabel 1. Daya Dukung Tanah terhadap Variasi Pemadatan

Derajat Pemadatan (%)	Daya Dukung Ultimit (kN/m ²)
85	115
90	142
95	155

Gambar 1 menampilkan hubungan derajat pemadatan dan daya dukung tanah menggambarkan hubungan linier yang cukup kuat antara peningkatan kepadatan dan kapasitas dukung tanah. Grafik menunjukkan tren kenaikan yang signifikan antara 85% hingga 90%, dan kenaikan lebih moderat menuju 95%. Ini mengindikasikan bahwa kepadatan 90–95% dapat dianggap sebagai ambang efektif dalam konteks proyek jalan desa.

3.2 Penurunan Pondasi terhadap Derajat Pemadatan

Parameter lain yang diamati adalah penurunan maksimum (settlement) akibat beban statik pada pelat tekan. Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 2, penurunan terbesar terjadi pada pemadatan 85%, yaitu sebesar 15,2 mm. Pada 90%, penurunan berkurang menjadi 10,1 mm, dan mencapai nilai minimum sebesar 7,6 mm pada pemadatan 95%. Penurunan total menurun lebih dari 50% antara pemadatan 85% ke 95%, menandakan bahwa pemadatan tidak hanya memperbesar kekuatan tanah, tetapi juga meningkatkan kekakuan lapisan tanah dasar.



Gambar 1. Hubungan Derajat Pemadatan dan Daya Dukung Tanah

Tabel 2. Penurunan Maksimum terhadap Variasi Pemadatan

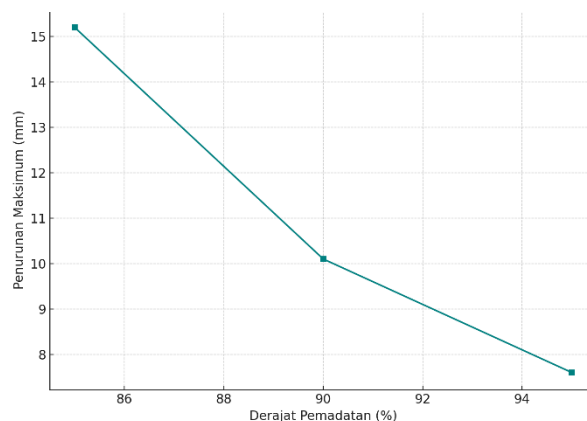
Derajat Pemadatan (%)	Penurunan Maksimum (mm)
85	15.2
90	10.1
95	7.6

Gambar 2 menampilkan hubungan derajat pemadatan dan penurunan pondasi menunjukkan grafik penurunan non-linier, di mana sebagian besar pengurangan settlement terjadi pada rentang peningkatan dari 85% ke 90%. Tren ini menunjukkan adanya nilai ambang efektif untuk mengurangi deformasi struktur tanpa perlu upaya pemadatan yang berlebihan.

3.3 Interpretasi dan Implikasi Teknik

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kontrol terhadap tingkat pemadatan tanah dasar sangat memengaruhi performa pondasi dangkal dalam konstruksi jalan desa. Tingkat pemadatan minimal 90% MDD sudah menunjukkan peningkatan kinerja yang signifikan dan dapat dijadikan batas minimum dalam pelaksanaan lapangan. Pencapaian 95% MDD memberikan hasil terbaik, tetapi perlu mempertimbangkan efisiensi tenaga dan alat dalam proyek desa yang berbasis swakelola.

Penurunan yang terjadi pada kepadatan rendah berpotensi menyebabkan deformasi diferensial pada lapisan perkerasan jalan, yang dalam jangka panjang akan menurunkan kenyamanan pengguna dan mempercepat kerusakan struktural. Oleh karena itu, penerapan metode uji sand cone untuk memastikan pemadatan lapangan menjadi penting dalam pengendalian mutu.



Gambar 2. Hubungan Derajat Pemadatan dan Penurunan Pondasi

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat pemadatan tanah dasar memberikan pengaruh signifikan terhadap stabilitas pondasi dangkal pada proyek pembangunan jalan desa. Hasil uji pelat tekan menunjukkan bahwa peningkatan derajat pemadatan dari 85% ke 95% Modified Proctor menghasilkan peningkatan daya dukung tanah dari 115 kN/m² menjadi 155 kN/m², atau naik sekitar 35%. Selain itu, penurunan maksimum yang terjadi pada pondasi berkurang dari 15,2 mm menjadi 7,6 mm, yang berarti terdapat pengurangan lebih dari 50% pada deformasi vertikal struktur pondasi.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pemadatan tanah dasar bukan hanya meningkatkan kekuatan tanah, tetapi juga secara signifikan mengurangi penurunan yang dapat menyebabkan kerusakan struktural dini. Tingkat pemadatan minimal 90% dari MDD direkomendasikan sebagai batas praktis untuk mencapai stabilitas yang cukup baik, sedangkan 95% dapat digunakan pada lokasi dengan beban lebih tinggi atau tanah dasar yang sangat lemah. Penelitian ini menegaskan pentingnya pengendalian mutu pemadatan dalam proyek jalan perdesaan, terutama dalam sistem pelaksanaan swakelola atau dengan keterbatasan sumber daya teknis.

Temuan ini memberikan dasar teknis yang kuat untuk penerapan standar pemadatan dalam pembangunan infrastruktur desa dan dapat menjadi acuan dalam penyusunan petunjuk teknis atau rekomendasi teknis lapangan oleh dinas terkait. Penelitian lanjutan direkomendasikan untuk mengevaluasi variasi jenis tanah dan pengaruh metode pemadatan terhadap durabilitas jangka panjang struktur jalan.

Daftar Pustaka

- [1] T. W. Lambe dan R. V. Whitman, *Soil Mechanics*, John Wiley & Sons, 1969.
- [2] B. M. Das, *Principles of Foundation Engineering*, 8th ed., Cengage Learning, 2015.
- [3] R. B. Peck, W. E. Hanson, and T. H. Thornburn, *Foundation Engineering*, 2nd ed., Wiley, 1974.
- [4] K. Terzaghi dan R. B. Peck, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley & Sons, 1967.
- [5] P. C. Dunn dan S. D. Johnson, "Soil Compaction and Pavement Performance," *Geotechnical Engineering Journal*, vol. 10, no. 2, pp. 98–105, 2003.
- [6] J. E. Bowles, *Foundation Analysis and Design*, 5th ed., McGraw-Hill, 1997.
- [7] M. Hardiyatmo, *Stabilisasi Tanah di Lapangan*, Gadjah Mada University Press, 2010.
- [8] P. W. Sowers, *Introductory Soil Mechanics and Foundations*, 4th ed., Macmillan, 1979.
- [9] S. Prakoso dan A. Arsyad, "Analisis Perilaku Tanah Lempung pada Jalan Desa," *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, vol. 8, no. 1, pp. 11–18, 2020.
- [10] J. T. Pfeiffer, "Differential Settlements in Roadway Structures," *Transportation Research Record*, vol. 1440, pp. 34–42, 1994.
- [11] SNI 1743:2008, *Tata Cara Perkerasan Jalan*, BSN, Jakarta.
- [12] ASTM D1557, *Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort*, ASTM International, 2012.
- [13] S. Lestari dan B. Wibowo, "Kinerja Perkerasan Jalan Desa terhadap Variasi Pemadatan Tanah Dasar," *Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan*, vol. 5, no. 2, pp. 20–27, 2021.
- [14] R. K. Rowe, "Design Considerations for Unpaved Roads," *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 18, no. 2, pp. 181–191, 1981.
- [15] SNI 03-1733-2004, *Tebal Lapisan Perkerasan Jalan*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [16] M. Hardiyatmo, "Hubungan Antara Derajat Pemadatan dan Nilai CBR Tanah Dasar," *Jurnal Teknik Sipil UGM*, vol. 3, no. 1, pp. 55–63, 2017.
- [17] Bappenas, *Laporan Evaluasi Jalan Desa Kabupaten Gunung Kidul*, Jakarta: Bappenas, 2020.
- [18] P. N. Holtz dan W. D. Kovacs, *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentice Hall, 1981.

- [19] M. A. Rahman, "Teknik Pelaksanaan Pematatan pada Jalan Desa," *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, vol. 6, no. 1, pp. 44–51, 2019.
- [20] J. G. Nelson dan D. L. Osinubi, "Improving Soil with Mechanical Compaction," *Construction and Building Materials*, vol. 14, pp. 123–131, 2000.
- [21] P. E. Suryolelono, "Pengaruh Kadar Air pada Efektivitas Pematatan Tanah," *Jurnal Mekanika Tanah dan Pondasi*, vol. 10, no. 2, pp. 18–25, 2018.
- [22] ASTM D1194, *Standard Test Method for Bearing Capacity Using Plate Load Test*, ASTM International, 2003.
- [23] Kementerian PUPR, *Pedoman Umum Pelaksanaan Jalan Desa*, Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022.
- [24] M. Widodo dan F. Susanto, "Teknik Pengujian Daya Dukung Tanah di Lokasi Jalan Desa," *Jurnal Teknik Geoteknik*, vol. 9, no. 2, pp. 31–39, 2021.
- [25] F. N. Darmawan, "Optimalisasi Pematatan Tanah Dasar di Proyek Perdesaan," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil*, Universitas Diponegoro, 2023.