

ANALISIS PEMAMPATAN KONSOLIDASI PRIMER PERLAPISAN TANAH LEMPUNG LUNAK

Rossyta Zia Azzahra¹, Dlauissama², Yogie Risdianto³
S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
E-mail: rossytazia.22022@mhs.unesa.ac.id¹

ABSTRAK

Ketersediaan tanah dasar (*subgrade*) berdaya dukung memadai menjadi tantangan utama dalam pembangunan infrastruktur jalan raya sepanjang 6,72 km di Kabupaten Lamongan, Jawa Timur. Dominasi endapan tanah lempung/lanau lunak jenuh air memicu potensi penurunan konsolidasi yang signifikan sewaktu menerima beban timbunan perkerasan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi magnitudo pemampatan konsolidasi primer murni (S_c) serta menganalisis perilaku deformasi vertikal tanah dasar. Pendekatan kuantitatif analitis diterapkan berbasis formulasi konsolidasi 1D Terzaghi dengan memanfaatkan data sekunder uji geoteknik pada 23 segmentasi lapisan tanah di dua zona krusial, yaitu Titik A dan Titik B. Hasil analisis menunjukkan bahwa total penurunan konsolidasi primer di Titik A mencapai 0,3215 m (32,15 cm), sedangkan di Titik B tercatat penurunan yang lebih dominan sebesar 0,5161 m (51,61 cm). Distribusi deformasi terbesar teridentifikasi pada lapisan tanah bagian dangkal dan magnitudonya meluruh seiring bertambahnya kedalaman. Temuan pemampatan tanah dasar yang melebihi 50 cm mengindikasikan tingginya kerentanan terhadap kegagalan struktur perkerasan, sehingga hasil estimasi ini menjadi landasan pertimbangan teknis yang krusial dalam merencanakan strategi rekayasa perbaikan tanah (*soil improvement*) sebelum tahap konstruksi dilaksanakan.

Kata kunci

Tanah lunak, Pemampatan, Subgrade.

ABSTRACT

The availability of subgrade with adequate bearing capacity is a major challenge in the construction of a 6.72 km highway infrastructure in Lamongan Regency, East Java. The predominance of water-saturated soft clay/silt deposits induces significant consolidation settlement when subjected to embankment pavement loads. This study aims to evaluate the magnitude of pure primary consolidation settlement (S_c) and analyze the vertical deformation behavior of the subsoil. A quantitative analytical approach based on Terzaghi's 1D consolidation formulation was applied using secondary geotechnical data across 23 sub-layers in two crucial zones, designated as Point A and Point B. The analysis results showed that the total primary consolidation settlement at Point A reached 0.3215 m (32.15 cm), whereas Point B recorded a more dominant settlement of 0.5161 m (51.61 cm). The largest deformation was identified in the shallow soil layers, and its magnitude gradually decreased with depth. The findings of subsoil settlement exceeding 50 cm indicate a high susceptibility to pavement structural failure, making these estimations a crucial basis for technical considerations in planning soil improvement engineering strategies before the construction stage is implemented.

Keywords

Soft soil, Settlement, Subgrade.

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan lahan dengan daya dukung tanah yang baik kini menjadi tantangan tersendiri dalam pelaksanaan proyek sarana perhubungan darat. Tidak jarang, trase konstruksi perkerasan jalan harus dibangun melintasi kawasan dengan kondisi *subgrade* yang kurang ideal, seperti ditemukannya perlapisan tanah lunak berbutir halus. Karakteristik umum endapan lempung maupun lanau lunak ini diidentikkan dengan nilai

kuat geser yang amat terbatas, kondisi tanah yang jenuh air, serta sifat kompresibilitas tinggi. Apabila lapisan tersebut menerima tambahan pembebanan di atasnya, seperti beban timbunan perkerasan (*embankment*), maka potensi masalah stabilitas dan deformasi menjadi aspek yang sangat krusial untuk diperhitungkan (Hardiyatmo, 2010).

Secara umum, pemampatan tanah di lapangan terbagi dalam dua tahapan, yakni konsolidasi primer dan sekunder. Menurut (Das, 1995) konsolidasi primer terjadi sewaktu air pori terperas keluar akibat adanya penambahan beban di atas permukaan, yang ditandai dengan perubahan tekanan air pori. Perilaku pemampatan primer ini dipengaruhi secara signifikan oleh sifat indeks tanah, khususnya batas cair (*liquid limit*) dan indeks plastisitas (*plasticity index*). Semakin tinggi nilai indeks plastisitas suatu tanah, maka potensi pemampatan konsolidasi primernya akan semakin besar, yang mana kondisi ini kurang menguntungkan karena berisiko memicu deformasi atau perubahan bentuk struktur tanah yang cukup signifikan. Pemahaman mengenai karakteristik pemampatan ini penting dilakukan untuk mengidentifikasi nilai kohesi (*c*) pada perlapisan tanah (Budiasih, Alihudien dan Ahmad, 2023). Penggunaan tanah lempung lunak sebagai perlapisan tanah dasar (*subgrade*) pada konstruksi jalan sering kali menimbulkan berbagai kendala teknis, sehingga penanganan rekayasa perbaikan tanah mutlak diperlukan sebelum tahap pembangunan dilaksanakan (Satria, Fatnanta dan Nugroho, 2020).

Persoalan geoteknis yang serupa ditemukan pada proyek pembangunan jalan raya sepanjang 6,72 km di kawasan Kabupaten Lamongan, Jawa Timur. Pada sepanjang koridor lintasan tersebut, keberadaan tanah dasar (*subgrade*) dengan kapasitas dukung yang memadai menjadi salah satu tantangan teknis utama. Berdasarkan data investigasi awal, formasi tanah di area ini didominasi oleh endapan lempung/lanau berbutir halus dengan kondisi jenuh air. Karakteristik material demikian sangat rawan mengalami penurunan elevasi serta penurunan stabilitas apabila dibebani oleh struktur perkerasan jalan dan lalu lintas di atasnya.

Dalam upaya meminimalisasi risiko deformasi struktur yang berlebihan, kajian diprioritaskan pada dua lokasi pengamatan utama yang ditentukan sebagai Titik A dan Titik B. Pemilihan kedua titik studi ini dipertimbangkan berdasarkan representasi kondisi tanah dasar yang tergolong paling lunak dan kritis di sepanjang koridor 6,72 km tersebut. Melalui pendekatan ini, penelitian bertujuan untuk mengevaluasi besaran pemampatan akibat konsolidasi serta perilaku deformasi tanah dasar di Titik A dan Titik B, sehingga hasilnya dapat difungsikan sebagai landasan pertimbangan dalam merumuskan metode rekayasa perbaikan tanah (*soil improvement*) yang presisi.

Tanah

Merujuk pada pandangan rekayasa geoteknik oleh Das (1995), tanah secara umum dimaknai sebagai endapan material padat yang tersusun atas butiran mineral non-sementasi serta perlapisan bahan organik yang telah terdekomposisi, di mana rongga antardua partikel padatnya terisi oleh fase cair dan gas. Ditinjau dari fungsinya, tanah memegang peranan krusial sebagai tumpuan atau media penopang struktur bangunan. Oleh karena itu, kriteria tanah yang ideal dituntut memiliki kapasitas dukung yang cukup guna memikul beban konstruksi di atasnya sekaligus menyebarkan tegangan tersebut secara merata ke lapisan di bawahnya.

Sejalan dengan hal tersebut, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002) menggarisbawahi pentingnya pengenalan serta penyelidikan sifat-sifat tanah dasar secara komprehensif. Pengabaian terhadap evaluasi karakteristik tanah berisiko fatal memicu penurunan yang tidak seragam (*differential settlement*) serta

ketidakstabilan struktur atas, yang pada akhirnya dapat mengakibatkan kegagalan fungsi konstruksi.

Tanah Lempung

Tanah kohesif atau tanah lempung merupakan kumpulan partikel berukuran sangat halus, baik mikroskopis maupun submikroskopis, yang terbentuk akibat proses pelapukan kimiawi dari batuan asalnya. Jenis tanah ini memiliki karakteristik yang khas, yaitu bersifat keras ketika dalam kondisi kering dan menjadi plastis saat mengandung air dalam jumlah sedang. Sifat plastis tersebut disebabkan oleh adanya mineral-mineral lempung yang berinteraksi dengan air. Apabila kadar air meningkat secara signifikan, tanah lempung akan berubah menjadi sangat lunak dan lengket (Das, 1995).

Konsolidasi Tanah

Konsolidasi didefinisikan sebagai peristiwa dekompresi atau reduksi volume matriks tanah yang dipicu oleh pelepasan air pori sewaktu struktur mengalami penambahan beban eksternal. Fenomena ini umumnya terjadi pada formasi tanah berbutir halus yang berada dalam kondisi jenuh air serta memiliki koefisien permeabilitas (k) yang amat rendah, seperti tanah lempung atau lanau (Nurani, Nurmeyliandari dan Amalia, 2023). Akibat rendahnya kelulusan air tersebut, lonjakan tekanan air pori berlebih (*excess pore water pressure*) tidak dapat terdisipasi secara instan, melainkan membutuhkan durasi waktu tertentu agar air terperas keluar dari rongga pori. Seiring dengan meluruhnya tekanan air pori tersebut, terjadi transfer beban menuju tegangan efektif antarpartikel yang pada akhirnya mengakibatkan penyusutan angka pori (*void ratio*) dan penurunan elevasi tanah secara bertahap.

Penurunan Konsolidasi

Penurunan konsolidasi terjadi akibat penyusutan volume tanah jenuh yang dipicu oleh keluarnya air dari dalam rongga pori. Ketika tanah menerima beban tambahan, tekanan air pori akan mengalami kenaikan secara mendadak. Pada lapisan tanah pasir yang memiliki permeabilitas tinggi, air pori dapat terdisipasi dengan cepat sehingga pemampatan terjadi secara seketika (*immediate settlement*). Sebaliknya, pada lapisan tanah lempung yang memiliki permeabilitas sangat rendah, proses pengeluaran air pori berlangsung lambat sehingga penurunan tanah terjadi secara bertahap dalam jangka panjang (Hardiyatmo, 2010; Prasetyo & Prihatiningsih, 2020).

Untuk tanah yang terkonsolidasi normal (*normally consolidated*) dimana tekanan efektif overburden pada saat ini adalah tekanan maksimum yang pernah dialami. melalui persamaan berikut:

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \times \log \left(\frac{P'_0 + \Delta P}{P'_0} \right) \quad (1)$$

Pada kondisi tanah yang terkonsolidasi lebih (*over consolidated*), tanah di lapangan pada suatu kedalaman tertentu mengalami tekanan efektif overburden akibat beban di atasnya saat ini lebih kecil dari pada tekanan yang pernah dialami oleh tanah itu sebelumnya dinamakan tegangan prakonsolidasi (P'_c), besarnya pemampatan dirumuskan sebagai berikut:

1. Bila $(P'_0 + \Delta P) \leq P'_c$, maka:

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \times \log \left[\frac{P'_0 + \Delta P}{P'_0} \right] \quad (2)$$

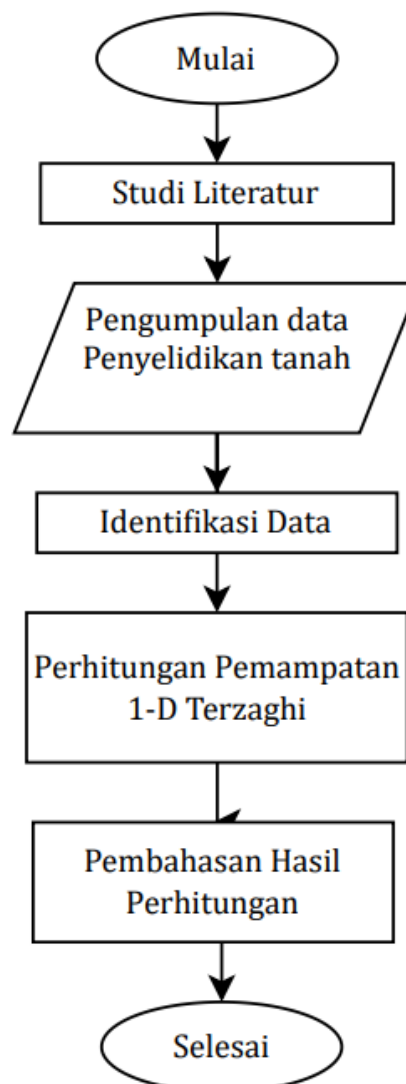
2. Bila $(P'_0 + \Delta P) > P'_c$, maka:

$$S_c = \frac{C_s.H}{1 + e_0} \times \text{Log} \left[\frac{P'_{fc}}{P'_{f0}} \right] + \frac{C_c.H}{1 + e_0} \times \text{Log} \left[\frac{P'_{f0} + \Delta P}{P'_{fc}} \right] \quad (3)$$

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis komputasi analitis dengan memanfaatkan data sekunder dari hasil pengujian geoteknik, baik pengujian lapangan (*in-situ*) maupun laboratorium. Prosedur analisis dimulai melalui perangkuman sifat indeks dan parameter mekanis perlapisan tanah dasar, yang kemudian digunakan untuk merumuskan simulasi Pemampatan akibat beban beban timbunan perkerasan.

Estimasi besarnya deformasi vertikal akibat konsolidasi primer dihitung menggunakan formulasi konsolidasi 1D pendekatan Terzaghi. Penentuan metode ini dimaksudkan untuk menguji besaran penurunan total serta merespons respons pemampatan tanah dasar, baik pada kondisi alami (*unimproved*) maupun pasca-aplikasi sistem perbaikan tanah.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Lokasi penelitian difokuskan pada proyek konstruksi jalan raya sepanjang 6,72 km di Kabupaten Lamongan, Jawa Timur, dipilih sebagai objek dalam penelitian ini. Penilaian teknis diarahkan pada ruas koridor yang ditopang oleh perlapisan tanah dasar dengan kapasitas dukung terbatas. Dua area pengamatan utama yang ditetapkan secara spesifik meliputi Titik A dan Titik B. Penetapan kedua titik pengamatan tersebut dipertimbangkan berdasarkan hasil pengujian geoteknis yang menunjukkan dominasi material lempung/lanau lunak pada lapisan tanah dasarnya.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berlangsungnya pemampatan konsolidasi primer (Sc) dipicu oleh kenaikan tegangan efektif akibat pemampatan beban timbunan di atas lapisan dasar. Untuk memprediksi total penurunan pada setiap sub-lapisan, analisis geoteknis memperhitungkan nilai tegangan efektif awal (P_0), tegangan prakonsolidasi (P_c), dan besarnya beban tambahan (ΔP). Adapun rekapitulasi data hasil perhitungan pemampatan tanah disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Rekapitulasi Pemampatan Titik A

No Lapisan	P_0	P_c	ΔP	Sc (m)	No Lapisan	P_0	P_c	ΔP	Sc (m)
1	3,414	129,2	143,420	0,0275	13	54,311	134,2	123,341	0,0123
2	10,242	129,2	143,420	0,0219	14	68,941	134,2	120,473	0,0122
3	16,148	150,3	143,420	0,0154	15	74,863	150,2	119,039	0,0125
4	21,131	150,3	141,986	0,0144	16	82,076	150,2	117,605	0,0129

5	26,11 4	150, 3	140,55 2	0,013 8	17	89,289	150, 2	114,73 6	0,013 0
6	31,09 7	150, 3	139,11 8	0,013 3	18	96,502	150, 2	111,86 8	0,013 2
7	35,98 2	137, 6	137,68 3	0,011 1	19	103,71 5	150, 2	110,43 4	0,013 6
8	40,76 9	137, 6	134,81 5	0,010 8	20	110,92 8	150, 2	106,13 1	0,013 6
9	45,55 6	137, 6	133,38 1	0,010 7	21	118,14 1	150, 2	104,69 7	0,014 1
10	50,34 3	137, 6	131,94 7	0,010 7	22	125,35 4	150, 2	104,69 7	0,014 7
11	55,05 1	134, 2	129,07 8	0,012 6	23	132,56 7	150, 2	98,96	0,014 6
12	59,68 1	134, 2	126,21 0	0,012 4	Sc Total				0,321 5

Sumber: Dokumen Pribadi

Tabel 2. Rekapitulasi Pemampatan Titik B

No Lapisan	P ₀	P _c	ΔP	Sc (m)	No Lapisan	P ₀	P _c	ΔP	Sc (m)
1	2,860	129,45	97,908	0,0745	13	62,210	130,43	86,159	0,0061
2	8,579	129,45	97,908	0,0527	14	66,870	130,43	84,201	0,0062
3	14,298	129,45	97,908	0,0431	15	71,530	130,43	84,201	0,0066
4	20,017	129,45	97,908	0,0371	16	76,189	130,43	82,243	0,0067
5	25,177	128,47	96,929	0,0348	17	81,025	134,36	78,327	0,0060
6	29,778	128,47	95,950	0,0318	18	86,037	134,36	75,389	0,0060
7	34,379	128,47	93,992	0,0291	19	91,049	134,36	74,410	0,0063
8	38,980	128,47	93,992	0,0060	20	96,061	134,36	73,431	0,0066
9	43,605	150,05	92,034	0,0375	21	101,073	134,36	68,536	0,0064
10	48,255	150,05	91,055	0,0351	22	106,085	134,36	68,536	0,0069
11	52,905	150,05	89,097	0,0327	23	111,097	134,36	68,536	0,0073
12	57,555	150,05	88,118	0,0307	Sc Total				0,5161

Sumber: Dokumen Pribadi

4. KESIMPULAN

Berdasarkan evaluasi parameter geoteknik, besarnya nilai penurunan konsolidasi primer murni (Sc) terbukti sangat bergantung pada kenaikan tegangan efektif (ΔP) dan kondisi tegangan awal tanah (P₀ serta P_c). Berdasarkan hasil perhitungan terhadap 23 segmentasi lapisan tanah, diperoleh total pemampatan di Titik A sebesar 0,3215 m (32,15 cm), sedangkan pada Titik B tercatat penurunan yang lebih dominan mencapai 0,5161 m (51,61cm). Pola deformasi menunjukkan bahwa pemampatan terbesar terjadi pada zona lapisan tanah bagian dangkal, lalu besarnya berangsur menurun pada kedalaman yang lebih dalam. Temuan penurunan tanah dasar yang menembus angka 50 cm ini mengonfirmasi bahaya kerentanan struktur, sehingga penentuan magnitude pemampatan ini menjadi landasan penting dalam mencegah kerusakan dini pada lapisan perkerasan jalan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Budiasih, T., Alihudien, A. dan Ahmad, H.H. (2023) "Analisis pengaruh Batas Cair dan Angka Pori Terhadap Indeks Pemampatan Primer (Studi Kasus: Tanah Lempung di Kranjingan, Kabupaten Jember)," *Jurnal Smart Teknologi*, 4(6), hal. 827–833.
- Das, B.M. (1995) *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Diedit oleh I.B. Endah, Noor dan Mochtar. Jakarta: Erlangga.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2002). Panduan Geoteknik 1: Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak (Pedoman Kimpraswil No: Pt T-8-2002-B).
- Hardiyatmo, H.C. (2010) *Mekanika Tanah* 2. 5 ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Nurani, A., Nurmeyliandari, R. dan Amalia, G. (2023) "Analisis Pengaruh Penambahan Portland Cement Terhadap Nilai Kuat Geser Pada Stabilisasi Tanah Lempung Lunak," *Jurnal Deformasi*, 8(2), hal. 132–143. Tersedia pada: <https://doi.org/10.31851/deformasi.v8i2.13109>.
- Prasetio, A. dan Prihatiningsih, A. (2020) "Analisis Penggunaan Prefabricated Vertical Drains (Pvd) Pada Tanah Lempung Lunak Yang Terdapat Lapisan Lensa," *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(1), hal. 119. Tersedia pada: <https://doi.org/10.24912/jmts.v3i1.7047>.
- Satria, Z., Fatnanta, F. dan Nugroho, S.A. (2020) "The Effect of Time on Bearing Capacity of Pile Foundations in Soft Soil with Varying Roughness," *Civil Engineering Journal (JRS-Unand)*, 16(1), hal. 12–24. Tersedia pada: <http://jrs.ft.unand.ac.id/index.php/jrs/article/view/267>.