

ANALISA PENURUNAN TANAH LEMPUNG PADA PEMBANGUNAN JALAN TOL PROBOLINGGO – BANYUWANGI STA 42+075

Risa Ayu Arika^{*1}, Reny Rochmawati² dan Gilang Ramadan Kololikiye³

¹ Mahasiswa, Teknik Sipil, Universitas Islam Malang
email : 22101051007@unisma.ac.id

² Dosen, Teknik Sipil, Universitas Islam Malang
email : renyrochmawati@unisma.ac.id

³ Dosen, Teknik Sipil, Universitas Islam Malang
email : gilangft@unisma.ac.id

ABSTRACT

The Probolinggo – Banyuwangi Toll Road is part of the Trans Java Toll Road network. The subgrade soil in this project consists of paddy fields with clay characteristics, classified as soft soil. Construction on soft soil will face several geotechnical problems, one of which is the instability of embankments and soil subsidence, which can affect the stability and lifespan of the construction. This study aims to analyze the soil characteristics and the magnitude of primary consolidation settlement at the Probolinggo–Banyuwangi Toll Road project at STA 42+075. The research methods used to understand soil characteristics and the extent of settlement include laboratory tests such as moisture content, Atterberg limits, sieve analysis, specific gravity, bulk density, and consolidation tests, supported by field data from cone penetration tests (CPT) and standard penetration tests (SPT). Settlement values were calculated for four soil layers based on test parameters. The results of the primary consolidation settlement analysis for the construction of the Probolinggo-Banyuwangi Toll Road at STA 42+075 are 2.655 cm at U90%, indicating that the settlement of the subgrade is categorized as safe since it is ≤ 10 cm, in accordance with the standards of the Road Pavement Design Manual No. 02/M/BM/2013.

Keywords : *Clay, primary consolidation, settlement, soil characteristics, toll road.*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Di era globalisasi saat ini, kekuatan daya dukung tanah memiliki peran penting dalam pembangunan infrastruktur, khususnya pada konstruksi jalan raya dan jalan tol. Semakin tinggi kapasitas tanah dalam menahan beban, maka proses perencanaan dan pelaksanaan pembangunan akan menjadi lebih mudah dan efisien [3]. Jalan adalah suatu infrastruktur di bidang transportasi yang dirancang sebagai prasarana penghubung lalu lintas, mendistribusikan barang dan jasa yang mempunyai peranan penting dalam mendukung perkembangan perekonomian bangsa [1]. Jalan merupakan infrastruktur transportasi darat yang mencakup seluruh bagian jalan [7]. Jalan Tol Probolinggo –

Banyuwangi 3 yang dilaksanakan oleh PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk. dimana pada tahap ini menghubungkan Paiton – Besuki dengan panjang jalan 6,70 km.

Tanah memiliki peran yang sangat penting dalam konstruksi, baik untuk pembangunan gedung maupun infrastruktur jalan, karena kondisi tanah sangat menentukan kestabilan dan keberhasilan struktur yang didirikan di atasnya [8]. Pada pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi STA 42+075, tanah dasar berupa sawah dengan karakteristik tanah lempung. Berdasarkan klasifikasinya, tanah ini tergolong lunak. Konstruksi yang didirikan di atas tanah lunak sering menghadapi berbagai permasalahan geoteknik, salah satunya yaitu ketidakstabilan timbunan serta potensi terjadinya penurunan tanah [4].

Penurunan tanah adalah permasalahan umum yang sering terjadi pada pembangunan jalan tol di atas tanah lempung. Penurunan yang tidak merata dapat menyebabkan kerusakan pada perkerasan jalan, seperti retak, amblas, dan gelombang sehingga membahayakan pengguna jalan. Penurunan tanah dibagi menjadi 3 jenis yaitu kompresi awal (elastis), konsolidasi primer, dan konsolidasi sekunder. Penentuan penurunan segera sangat sulit dilakukan, salah satunya disebabkan oleh ketidakhomogenan dan sifat anisotropik tanah dalam kondisi alaminya. [9].

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik tanah yang ada di Lokasi Pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi STA 42+075?
2. Berapa nilai penurunan tanah di Lokasi Pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi STA 42+075?

1.3. Tujuan

1. Mengetahui karakteristik tanah yang ada di Lokasi Pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi STA 42+075.
2. Mengetahui nilai penurunan tanah di Lokasi Pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi STA 42+075.

1.4. Ruang Lingkup

1. Karakteristik tanah
2. Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur, USCS dan AASHTO
3. Penurunan konsolidasi

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah berperan sebagai elemen dasar dalam setiap konstruksi. Namun, jika tanah memiliki karakteristik yang kurang mendukung, hal ini dapat menimbulkan kerusakan pada struktur yang dibangun, yang tentunya menjadi kondisi yang harus dihindari dalam pelaksanaan proyek konstruksi [2].

Daya dukung tanah pada jalan bergantung pada kekuatan tanah menahan beban dan keseragaman kekuatan tersebut di sepanjang jalur. Jika tidak merata, hal ini dapat

menyebabkan kerusakan atau perubahan bentuk tetap pada konstruksi jalan deformasi permanen pada konstruksi jalan [5].

2.2 Pengujian Karakteristik Tanah

1. Kadar air
2. Batas-batas *Atterberg*
3. Analisa saringan
4. Berat jenis tanah
5. Berat volume basah dan volume kering

2.3. Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah merupakan proses pengelompokan berbagai jenis tanah berdasarkan karakteristiknya masing-masing. Sistem ini memberikan gambaran umum mengenai sifat-sifat tanah yang sangat beragam, meskipun tidak ada satu pun sistem yang mampu menjelaskan seluruh karakteristik tanah secara menyeluruh (Das, 1995).

1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur

Tanah tersebut dibagi dalam beberapa kelompok berdasar ukuran butir: pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*). sistem klasifikasinya dikelompokkan berdasarkan ukuran butir melalui presentase pasir, lanau dan lempung yang digambar pada grafik segitiga

2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

Tanah berbutir kasar (*coarse grained soil*), yaitu : tanah kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Tanah berbutir halus (*fine grained soil*), yaitu : tanah lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200

3. Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Sistem ini membagi tanah menjadi tujuh kelompok besar yaitu A-1 sampai A-7. Tanah diklasifikasikan berdasarkan persentase jumlah butiran tanah yang lolos no 200 dan nilai batas *atterberg*-nya (PI dan LL).

2.4 Klasifikasi Tanah Lempung

Konsistensi dari tanah lempung dipengaruhi secara signifikan oleh kadar airnya. Nilai batas cair dan indeks plastisitas menjadi indikator penting dalam menilai potensi pengembangan tanah tersebut.

Menurut Bowles (1991), tanah lempung merupakan partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi di dalam tanah yang kohesif.

2.5 Penurunan

Penurunan permukaan tanah akan terjadi saat lapisan tanah mengalami tekanan beban. Kejadian ini juga dipengaruhi oleh distribusi tanah lempung atau tanah lunak yang berada di bawah tanah permukaan, terutama pada daerah aluvial. Secara umum, penurunan akibat beban terdiri dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Jika penurunan yang terjadi terlalu besar maka dapat mengakibatkan kerusakan pada konstruksi di atasnya.

Dalam desain timbunan untuk perkerasan di atas tanah lunak, penting untuk memperhitungkan batas-batas deformasi yang ditimbulkan oleh penurunan total, penurunan diferensial, serta penurunan sekunder sebagai akibat dari pembebanan statis maupun dinamis. Batas-batas maksimum dijabarkan dalam Manual desain perkerasan jalan nomor 02/M/BM/2013, dimana batas total penurunan yang diizinkan adalah 10 m.

2.6 Uji Sondir

Cone Penetration Test atau biasa disebut Sondir adalah salah satu survei lapangan yang berguna untuk memperkirakan letak lapisan tanah keras. Tes ini baik dilakukan pada lapisan tanah lempung. Pengujian sondir bertujuan untuk mengetahui kekuatan tanah pada berbagai kedalaman dan memperkirakan lapisan tanah. Hasilnya ditampilkan dalam grafik yang menggambarkan hubungan antara kedalaman dan nilai tahanan konus (q_c) serta gesekan selimut (t_f). Uji ini juga digunakan untuk menganalisis profil tanah, kepadatan pasir, kekuatan tanah, permeabilitas atau konsolidasi, serta kapasitas daya dukung.

2.7 Uji SPT

SPT atau Standard Penetration Test adalah metode uji tanah yang sering dipakai untuk menilai daya dukung tanah, sebagai alternatif

dari CPT. Pengujian ini dilakukan seiring dengan pengeboran, guna mengetahui perlawanan tanah terhadap beban dinamis dan memperoleh sampel terganggu menggunakan sistem tumbukan.

2.8 Konsolidasi

Konsolidasi adalah proses berkurangnya kandungan air dalam lapisan tanah lempung jenuh tanpa adanya penggantian oleh udara, sebagaimana dijelaskan oleh Terzaghi (1946). Selain itu, konsolidasi juga dapat diartikan sebagai penurunan volume tanah akibat keluarnya air dari pori-pori tanah, di mana laju proses tersebut bergantung pada waktu. Crawford (1964). Tanah lempung dengan permeabilitas rendah mengalami desipasi air pori, tekanannya dapat dilihat dari kecepatan sejauh mana air dapat keluar melalui pori-pori tanah. Dari kecepatan dan jarak air dapat disimpulkan bahwa mekanisme konsolidasi adalah respon dari tegangan waktu (visco elastic) Holtz dan Konvacs (1981).

Berdasarkan hubungan antara pemampatan dan waktu dibagi menjadi 3 tahap, yaitu :

1. Pemampatan Awal (*initial compression*) yang ada umumnya adalah disebabkan oleh pembebanan awal (*preloading*).
2. Konsolidasi Primer (*primary consolidation*) yaitu periode selama tekanan air pori secara lambat laun dipindahkan ke dalam tegangan efektif sebagai akibat dari keluarnya air dari pori-pori tanah.
3. Konsolidasi sekunder (*secondary consolidation*), yang terjadi setelah tekanan air pori hilang seluruhnya.

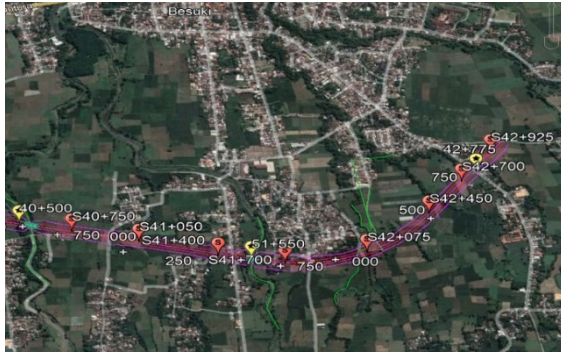
$$S = C_c \frac{H_0}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_{0,1}} \quad (1a)$$

$$t = T_v \cdot \frac{Hd^2}{C_v} \quad (1b)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

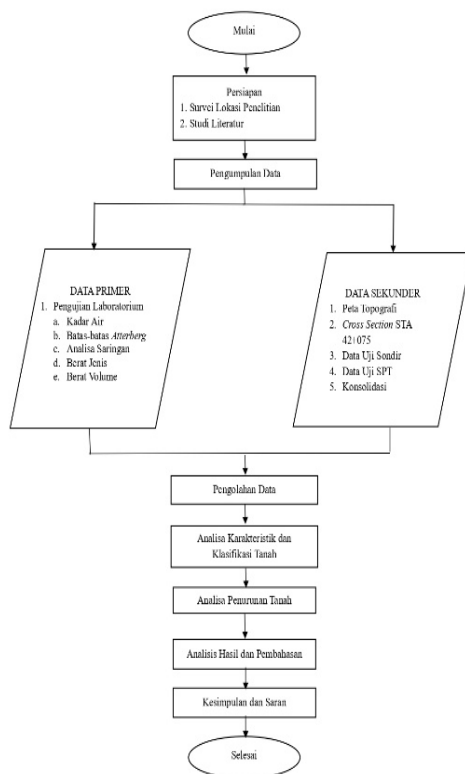
3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Jl. Pantura - Besuki, Krajan, Kalianget, Kec. Banyuglugur, Kabupaten Situbondo terletak di bagian timur Pulau Jawa, tepatnya di wilayah pesisir utara Provinsi Jawa Timur.



Gambar 1. Lokasi penelitian
Sumber : (PT. Wijaya Karya)

3.2 Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Bagan alir penelitian
Sumber : (Priyadi, 2025)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

Sampel tanah yang disiapkan adalah tanah asli dari lokasi proyek yang berada di Besuki, Krajan, Kalianget, Kec. Banyuglugur, Kab. Situbondo. Sampel tanah diambil pada kedalaman ± 50 cm sebanyak 3 Kg. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Islam Malang. Hasil pengujian laboratorium terhadap parameter fisik tanah menunjukkan nilai-nilai sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

No	Pengujian	Hasil Uji	Satuan
1	Kadar Air (<i>Water Content</i>) :		
	a. Berat Air	3,26	gram
	b. Berat Tanah Kering	9,93	gram
	c. Kadar Air	32,90	%
2	Batas-Batas <i>Atterberg</i> :		
	a. Batas Cair (<i>Liquid Limit</i>)	35,47	%
	b. Batas Plastis (<i>Plastic Limit</i>)	31,40	%
	c. Indeks Plastisitas	4,04	%
3	Analisa Saringan (<i>Sieve Analysis</i>)		
	a. <i>Gravel</i>	0	%
	b. <i>Sand</i>	49,83	%
	c. <i>Silt & Clay</i>	50,17	%
4	Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i>)		
	a. Suhu	30	$^{\circ}\text{C}$
	b. Berat Jenis Air	0,9956	gram/cm^3
	c. Berat Jenis	2,58	gram/cm^3
5	Berat Volume (<i>Density</i>)		
	a. γ_b	1,44	gram/cm^3
	b. γ_d	0,72	gram/cm^3
	c. n	0,72	%
	d. e	2,61	

Sumber : (Analisis peneliti, 2025)

4.2. Penurunan Konsolidasi Primer

Penurunan konsolidasi primer adalah proses berkurangnya volume tanah jenuh berbutir halus (seperti lempung atau lanau) yang terjadi secara bertahap akibat beban eksternal. Penurunan konsolidasi primer adalah penurunan vertikal tanah akibat perubahan volume yang terjadi selama proses konsolidasi, khususnya saat tekanan air pori dalam tanah berkurang dan meratakan diri. Proses ini terjadi pada tanah jenuh yang memiliki permeabilitas rendah dan dibebani.

4.2.1. Analisis Penurunan

Tabel 2. Data parameter Tanah

Layer	Soil Type	Depth (m)			Δh (m)	N Value	e ₀	C _c	C _r	C _v
1	Clay	0	-	4	4	10	1,816	0,052	0,005	5.00E-03
2	Gravelly Clay	4	-	7	3	24	1,531	0,016	0,002	5.00E-03
3	Gravelly Clay with Sand	7	-	10	3	60	0,796	0,005	0,000	5.00E-03
4	Gravel with Sand	10	-	14	4	60	0,500	0,000	0,000	1.00E+01

Sumber : (Data Sekunder, 2025)

1. Perhitungan Tekanan Air Pori

a. Layer 1

$$\begin{aligned}
 P &= \rho \times g \times h \\
 &= 1000 \times 9,81 \times 2,9 \\
 &= 28,45 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

b. Layer 2

$$\begin{aligned}
 P &= \rho \times g \times h \\
 &= 1000 \times 9,81 \times 7 \\
 &= 68,67 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

c. Layer 3

$$\begin{aligned}
 P &= \rho \times g \times h \\
 &= 1000 \times 9,81 \times 10 \\
 &= 98,10 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

d. Layer 4

$$\begin{aligned}
 P &= \rho \times g \times h \\
 &= 1000 \times 9,81 \times 14 \\
 &= 137,34 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan σ_v'

$$\begin{aligned}
 \gamma_b &= 1,44 \text{ gr/cm}^3 \\
 &= 1,44 \times 9,81 \\
 &= 14,13 \text{ kN/m}^3
 \end{aligned}$$

a. Layer 1

$$\begin{aligned}
 \sigma_v'_1 &= \gamma_b \times h \\
 &= 14,13 \times 4 \\
 &= 56,52 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

b. Layer 2

$$\begin{aligned}
 \sigma_v'_2 &= \gamma_b \times h \\
 &= 14,13 \times 7 \\
 &= 98,91 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

c. Layer 3

$$\sigma_v'_3 = \gamma_b \times h$$

$$\begin{aligned}
 &= 14,13 \times 10 \\
 &= 141,30 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

d. Layer 4

$$\begin{aligned}
 \sigma_v'_4 &= \gamma_b \times h \\
 &= 14,13 \times 14 \\
 &= 197,82 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan $\Delta\sigma$

a. Layer 1

$$\begin{aligned}
 \Delta\sigma_1 &= \sigma_v'_1 + \text{tekanan air pori} \\
 &= 56,52 + 28,45 \\
 &= 84,97 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

b. Layer 2

$$\begin{aligned}
 \Delta\sigma_2 &= \sigma_v'_2 + \text{tekanan air pori} \\
 &= 98,91 + 68,67 \\
 &= 167,58 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

c. Layer 3

$$\begin{aligned}
 \Delta\sigma_3 &= \sigma_v'_3 + \text{tekanan air pori} \\
 &= 141,30 + 98,10 \\
 &= 239,40 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

d. Layer 4

$$\begin{aligned}
 \Delta\sigma_4 &= \sigma_v'_4 + \text{tekanan air pori} \\
 &= 197,82 + 137,34 \\
 &= 335,16 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

4. Konsolidasi Primer

a. Layer 1

$$\begin{aligned}
 S &= 0,052 \frac{4}{1+1,816} \log \frac{84,97}{56,52} \\
 &= 0,052 \cdot 1,420 \cdot 0,177 \\
 &= 0,0130 \text{ m} \\
 &= 1,31 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

b. Layer 2

$$\begin{aligned}
 S &= 0,016 \frac{7}{1+1,513} \log \frac{167,58}{98,91} \\
 &= 0,016 \cdot 2,785 \cdot 0,2289
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,0101 \text{ m} \\
 &= 1,01 \text{ cm} \\
 \text{c. Layer 3} \\
 S &= 0,005 \frac{10}{1+0,796} \log \frac{239,40}{141,30} \\
 &= 0,005 \cdot 5,568 \cdot 0,2289 \\
 &= 0,0063 \text{ m} \\
 &= 0,63 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{d. Layer 4} \\
 S &= 0,000 \frac{14}{1+0,500} \log \frac{335,16}{197,82} \\
 &= 0,000 \cdot 0,970 \cdot 0,2289 \\
 &= 0,000 \text{ m} \\
 &= 0,0 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

5. Waktu Penurunan U90%

$$\begin{aligned}
 \text{a. Layer 1} \\
 t &= 0,848 \times \frac{2^2}{5 \times 10^{-7}} \\
 &= 6784000 \text{ detik} \\
 &= 1884,4 \text{ jam} \\
 &= 78,5 \text{ hari} \\
 &= 2,6 \text{ bulan} \\
 &= 0,2 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. Layer 2} \\
 t &= 0,848 \times \frac{3,5^2}{5 \times 10^{-7}} \\
 &= 20776000 \text{ detik} \\
 &= 5771,1 \text{ jam} \\
 &= 240,5 \text{ hari} \\
 &= 8,0 \text{ bulan} \\
 &= 0,7 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Layer 3} \\
 t &= 0,848 \times \frac{5^2}{5 \times 10^{-7}} \\
 &= 42400000 \text{ detik} \\
 &= 11777,7 \text{ jam} \\
 &= 490,7 \text{ hari} \\
 &= 16,4 \text{ bulan} \\
 &= 1,4 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{d. Layer 4} \\
 t &= 0,848 \times \frac{7^2}{1 \times 10^{-8}} \\
 &= 415520000 \text{ detik} \\
 &= 1154222,2 \text{ jam} \\
 &= 48092,6 \text{ hari} \\
 &= 1603,1 \text{ bulan} \\
 &= 133,6 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

6. Perhitungan S berdasarkan Uv

$$\begin{aligned}
 \text{a. Layer 1} \\
 S &= 1,31 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Tabel 3. Nilai S layer 1

Uv (%)	S (cm)
0	0,000
10	0,131
20	0,262
30	0,393
40	0,524
50	0,655
60	0,786
70	0,917
80	1,048
90	1,179
95	1,244
99	1,296

Sumber : (Analisis peneliti, 2025)

Perhitungan Pada U₉₀:

$$\begin{aligned}
 U_{90} &= 0,90 \times 1,31 \\
 &= 1,179 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

b. Layer 2

$$S = 1,01 \text{ cm}$$

Tabel 4. Nilai S layer 2

Uv (%)	S (cm)
0	0,000
10	0,101
20	0,202
30	0,303
40	0,404
50	0,505
60	0,606
70	0,707
80	0,808
90	0,909
95	0,950
99	0,990

Sumber : (Analisis peneliti, 2025)

Perhitungan Pada U₉₀:

$$\begin{aligned}
 U_{90} &= 0,90 \times 1,01 \\
 &= 0,909 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

c. Layer 3

$$S = 0,63 \text{ cm}$$

Perhitungan U₉₀:

$$\begin{aligned}
 U_{90} &= 0,90 \times 0,63 \\
 &= 0,567 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Tabel 5. Nilai S layer 3

U _v (%)	S (cm)
0	0,000
10	0,063
20	0,126
30	0,189
40	0,252
50	0,315
60	0,378
70	0,441
80	0,504
90	0,567
95	0,598
99	0,623

Sumber : (Analisis peneliti, 2025)

Tabel 6. Nilai S layer 4

U _v (%)	S (cm)
0	0,000
10	0,000
20	0,000
30	0,000
40	0,000
50	0,000
60	0,000
70	0,000
80	0,000
90	0,000
95	0,000
99	0,000

Sumber : (Analisis peneliti, 2025)

d. Layer 4

S = 0 cm

Perhitungan U₉₀:

$$U_{90} = 0,90 \times 0,00$$

$$= 0,000 \text{ cm}$$

4.2.2. Hasil Analisis Penurunan

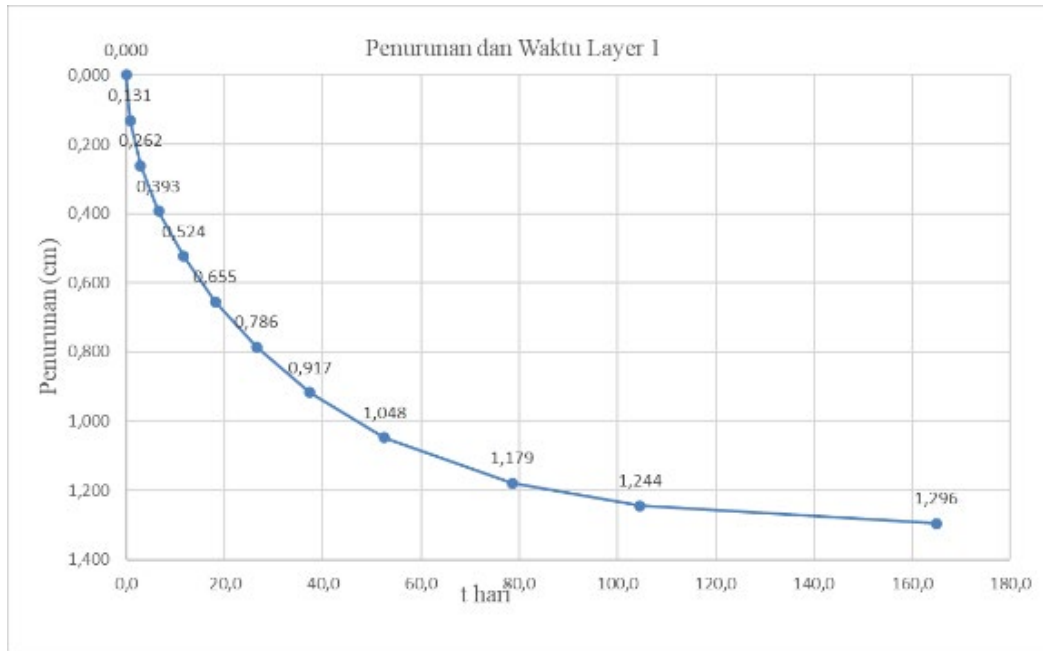
1. Layer 1

Berikut adalah tabel hasil analisis penurunan pada tanah layer 1, dimana menjelaskan tentang penurunan dan derajat konsolidasi terhadap waktu.

Tabel 7. Hasil analisis layer 1

Layer 1							
U _v	S (cm)	T _v	t sec	t jam	t hari	t bulan	t tahun
U ₀	0,000	0,000	0	0,0	0,0	0,0	0,0
U ₁₀	0,131	0,008	64000	17,778	0,7	0,0	0,0
U ₂₀	0,262	0,031	248000	68,889	2,9	0,1	0,0
U ₃₀	0,393	0,071	568000	157,778	6,6	0,2	0,0
U ₄₀	0,524	0,126	1008000	280,000	11,7	0,4	0,0
U ₅₀	0,655	0,196	1568000	435,556	18,1	0,6	0,1
U ₆₀	0,786	0,286	2288000	635,556	26,5	0,9	0,1
U ₇₀	0,917	0,403	3224000	895,556	37,3	1,2	0,1
U ₈₀	1,048	0,567	4536000	1260,000	52,5	1,8	0,1
U ₉₀	1,179	0,848	6784000	1884,444	78,5	2,6	0,2
U ₉₅	1,244	1,129	9032000	2508,889	104,5	3,5	0,3
U ₉₉	1,296	1,781	14248000	3957,778	164,9	5,5	0,5

Sumber : (Analisis peneliti, 2025)



Gambar 3. Grafik penurunan dan waktu layer 1

Pada grafik diatas menggambarkan proses konsolidasi tanah pada layer 1, dimana menunjukkan bahwa penurunan tercepat terjadi pada fase awal.

2. Layer 2

Berikut adalah tabel hasil analisis penurunan pada tanah layer 2, dimana menjelaskan tentang penurunan dan derajat konsolidasi terhadap waktu.

Tabel 8. Hasil analisis layer 2

Layer 2							
Uv	S (cm)	Tv	t sec	t jam	t hari	t bulan	t tahun
U0	0,000	0,000	0	0,0	0,0	0,0	0,0
U10	0,101	0,008	196000	54,444	2,3	0,1	0,0
U20	0,202	0,031	759500	210,972	8,8	0,3	0,0
U30	0,303	0,071	1739500	483,194	20,1	0,7	0,1
U40	0,404	0,126	3087000	857,500	35,7	1,2	0,1
U50	0,505	0,196	4802000	1333,889	55,6	1,9	0,2
U60	0,606	0,286	7007000	1946,389	81,1	2,7	0,2
U70	0,707	0,403	9873500	2742,639	114,3	3,8	0,3
U80	0,808	0,567	13891500	3858,750	160,8	5,4	0,4
U90	0,909	0,848	20776000	5771,111	240,5	8,0	0,7
U95	0,950	1,129	27660500	7683,472	320,1	10,7	0,9
U99	0,990	1,781	43634500	12120,694	505,0	16,8	1,4

Sumber : (Analisis peneliti, 2025)



Gambar 4. Grafik penurunan dan waktu layer 2

Pada grafik diatas menggambarkan proses konsolidasi tanah pada layer 2, dimana menunjukkan bahwa penurunan tercepat terjadi pada fase awal.

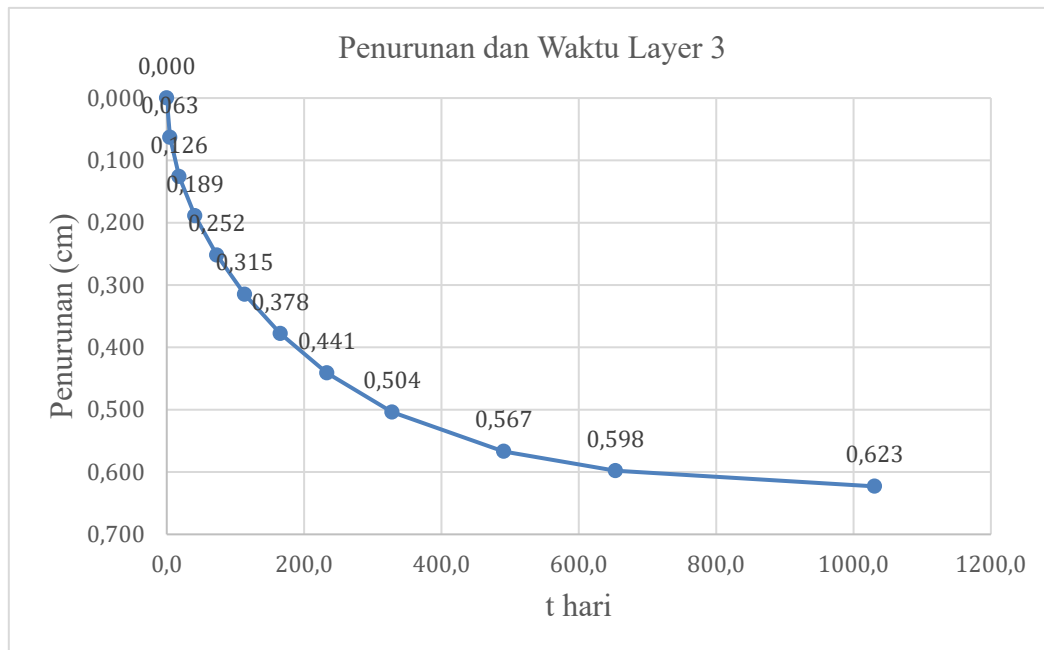
3. Layer 3

Berikut adalah tabel hasil analisis penurunan pada tanah layer 3, dimana menjelaskan tentang penurunan dan derajat konsolidasi terhadap waktu.

Tabel 9. Hasil analisis layer 3

Layer 3							
Uv	S (cm)	Tv	t sec	t jam	t hari	t bulan	t tahun
U0	0,000	0,000	0	0,0	0,0	0,0	0,0
U10	0,063	0,008	400000	111,111	4,6	0,2	0,0
U20	0,126	0,031	1550000	430,556	17,9	0,6	0,0
U30	0,189	0,071	3550000	986,111	41,1	1,4	0,1
U40	0,252	0,126	6300000	1750,000	72,9	2,4	0,2
U50	0,315	0,196	9800000	2722,222	113,4	3,8	0,3
U60	0,378	0,286	14300000	3972,222	165,5	5,5	0,5
U70	0,441	0,403	20150000	5597,222	233,2	7,8	0,6
U80	0,504	0,567	28350000	7875,000	328,1	10,9	0,9
U90	0,567	0,848	42400000	11777,778	490,7	16,4	1,4
U95	0,598	1,129	56450000	15680,556	653,4	21,8	1,8
U99	0,623	1,781	89050000	24736,111	1030,7	34,4	2,9

Sumber : (Analisis peneliti, 2025)



Gambar 5. Grafik penurunan dan waktu layer 3

Pada grafik diatas menggambarkan proses konsolidasi tanah pada layer 3, dimana menunjukkan bahwa penurunan tercepat terjadi pada fase awal.

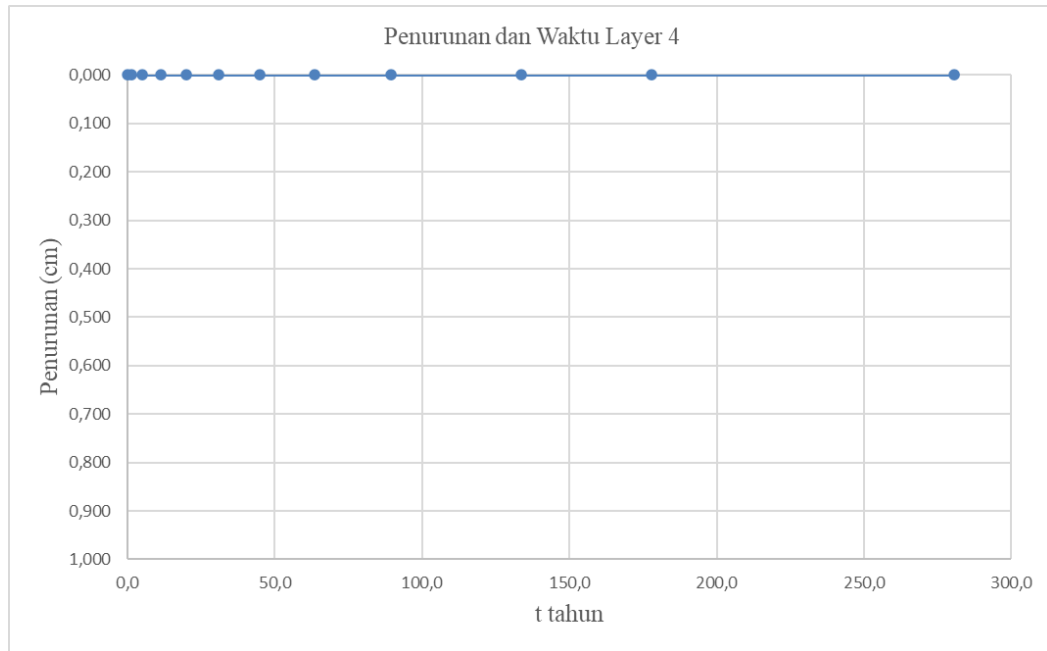
4. Layer 4

Berikut adalah tabel hasil analisis penurunan pada tanah layer 4, dimana menjelaskan tentang penurunan dan derajat konsolidasi terhadap waktu.

Tabel 10. Hasil analisis layer 4

Layer 4							
Uv	S (cm)	Tv	t sec	t jam	t hari	t bulan	t tahun
U0	0,000	0,000	0	0,0	0,0	0,0	0,0
U10	0,000	0,008	39200000	10888,889	453,7	15,1	1,3
U20	0,000	0,031	151900000	42194,444	1758,1	58,6	4,9
U30	0,000	0,071	347900000	96638,889	4026,6	134,2	11,2
U40	0,000	0,126	617400000	171500,000	7145,8	238,2	19,8
U50	0,000	0,196	960400000	266777,778	11115,7	370,5	30,9
U60	0,000	0,286	1401400000	389277,778	16219,9	540,7	45,1
U70	0,000	0,403	1974700000	548527,778	22855,3	761,8	63,5
U80	0,000	0,567	2778300000	771750,000	32156,3	1071,9	89,3
U90	0,000	0,848	4155200000	1154222,222	48092,6	1603,1	133,6
U95	0,000	1,129	5532100000	1536694,444	64028,9	2134,3	177,9
U99	0,000	1,781	8726900000	2424138,889	101005,8	3366,9	280,6

Sumber : (Analisis peneliti, 2025)



Gambar 6. Grafik penurunan dan waktu layer 4

Pada grafik diatas menggambarkan proses konsolidasi tanah pada layer 4, dimana menunjukkan bahwa telah mencapai kondisi stabil dimana tidak terjadi penurunan.

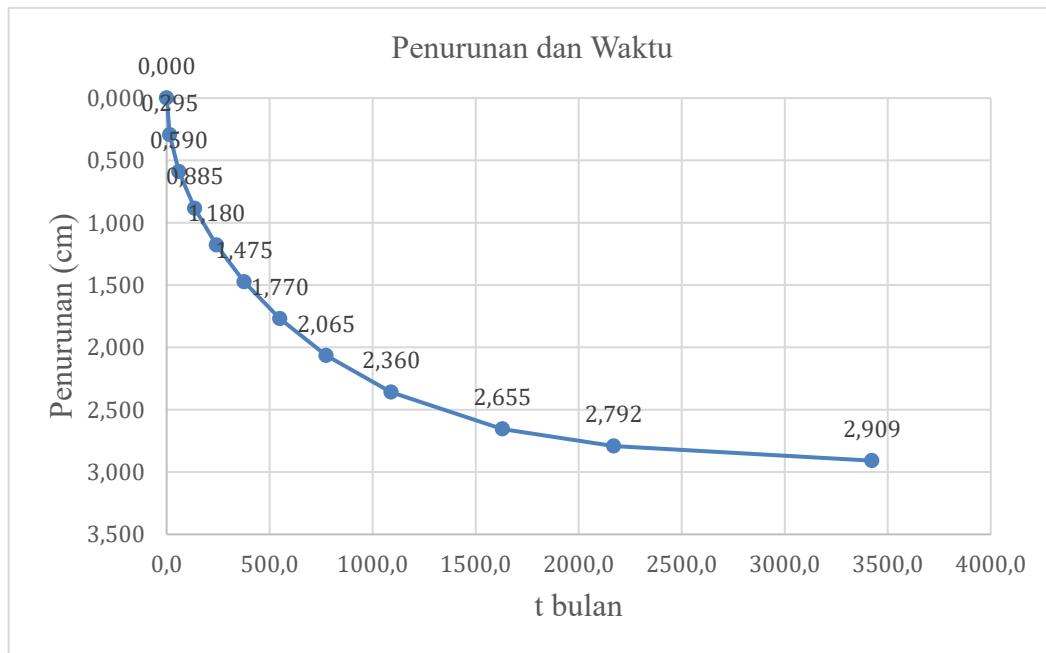
5. Layer Gabungan

Berikut adalah tabel hasil analisis penurunan tanah pada semua layer, dimana menjelaskan tentang penurunan dan derajat konsolidasi terhadap waktu.

Tabel 11. Hasil analisis layer gabungan

Layer Gabungan							
Uv	S (cm)	Tv	t sec	t jam	t hari	t bulan	t tahun
U0	0,000	0,000	0	0,0	0,0	0,0	0,0
U10	0,295	0,008	39860000	11072,222	461,3	15,4	1,3
U20	0,590	0,031	154457500	42904,861	1787,7	59,6	5,0
U30	0,885	0,071	353757500	98265,972	4094,4	136,5	11,4
U40	1,180	0,126	627795000	174387,500	7266,1	242,2	20,2
U50	1,475	0,196	976570000	271269,444	11302,9	376,8	31,4
U60	1,770	0,286	1,425E+09	395831,944	16493,0	549,8	45,8
U70	2,065	0,403	2,008E+09	557763,194	23240,1	774,7	64,6
U80	2,360	0,567	2,825E+09	784743,750	32697,7	1089,9	90,8
U90	2,655	0,848	4,225E+09	1173655,556	48902,3	1630,1	135,8
U95	2,792	1,129	5,625E+09	1562567,361	65107,0	2170,2	180,9
U99	2,909	1,781	8,874E+09	2464953,472	102706,4	3423,5	285,3

Sumber : (Analisis peneliti, 2025)



Gambar 7. Grafik Penurunan dan Waktu

Pada grafik diatas menggambarkan proses konsolidasi tanah pada semua layer, dimana menunjukkan bahwa penurunan tanah paling signifikan dan cepat terjadi pada awal periode konsolidasi (sekitar 0 – 500 bulan). Setelah itu, laju penurunan melambat secara signifikan meskipun waktu terus berjalan hingga 3500 bulan. Hal ini mengindikasikan bahwa penurunan awal sangat drastic dan kemudian cenderung stabil atau melambat seiring berjalannya waktu.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Karakteristik tanah pada lokasi tersebut, yaitu :
 - a. Berdasarkan tekstur termasuk kelompok tanah liat dengan fraksi partikel tanah kerikil (*gravel*) > 4,75 mm = 0 %, pasir (*sand*) 0,075 mm – 4,75 mm = 49,83%, debu dan lempung (*silt & clay*) < 0,075 mm = 50,17%.
 - b. Berdasarkan metode *Unified Soil Classification System* (USCS) termasuk kelompok tanah berbutir halus (*fine grained soil*) karena nilai lolos saringan No. 200 > 50% yaitu 50,17%, dengan kelompok tanah ML karena LL < 50.
 - c. Berdasarkan metode *American Association of State Highway and*

Transportation Officials (AASHTO)

termasuk kelompok tanah A-4 yaitu tanah lanau lempung, dengan nilai lolos saringan no. 10 = 98%, lolos saringan no. 40 = 88,10%, dan lolos saringan no. 200 = 50,17%.

2. Nilai Penurunan

Berdasarkan analisis perhitungan, nilai penurunan pada U90% di dapat nilai penurunan sebesar 2,655 cm. Maka dapat disimpulkan bahwa penurunan pada tanah dasar tersebut dikategorikan aman karena ≤ 10 cm sesuai standar Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hafid, F. S. A., Suprpto, B., & Ingsih, I. S, Studi Evaluasi Kerusakan Jalan Menggunakan Metode Bina Marga Dan Pci Pada Jalan Lingkar Timur Kabupaten Sidoarjo, 2024
- [2] Lestari, I. G., Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif Studi Kasus di Desa Tanah Awu, Lombok Tengah. 8 No. 2., 2014
- [3] Ma'ruf, Z. R., Khoiri, M., & Mt, S., Perbaikan Tanah Dasar Pada Proyek Jalan Tol Porong – Gempol Sta 35+060 S.D Sta 37+340 Menggunakan Metode Prefabricated Vertical Drained dan Perkuatan Timbunan, 2018
- [4] Nasrullah, Analisis Daya Dukung Tanah

- Lapisan Pondasi Jalan Pada Proyek Jalan Tol Tebing Tinggi – Parapat Tahap I (ZONA 1), 2022
- [5] Nofal Nugerah, Analisis Stabilitas Tanah Timbunan Pada Jalan Tol Medan – Kualanamu – Tebing Tinggi Seksi 7a : Sei Rampah – Sei Bamban (Sta 81 + 000) Beserta Metode Pematatannya, 2021
- [6] Sihite, W. A., Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area, 2018
- [7] Putra, K. H., Ita Suhermin Ingsih, Theresia Maria Candra Agusdini, Mila Kusuma Wardani, Felicia Tria Nuciferani, & Muhammad Exchel Cakra Putra. The Effect Of Overload On The Design Of Life Of Road Pavement (Case Study: Koti Road, Jayapura City), 2023
- [8] Rochmawati, R., & Sitorus, P. H. Stabilisasi Tanah Lanau Dengan Abu Tongkol Jagung Sebagai Lapis Pondasi Jalan, 2023
- [9] Anwar, S., Rochmawati, I. R., & Eng, M. (n.d.). Analisis Penurunan Tanah Di Ruas Jalan Garuda Sta. 0+094, 2024