

**ANALISIS PENURUNAN (AMBLAS) TIMBUNAN PADA OPRIT JEMBATAN
DAWUHAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE PLAXIS 2D***

Adellia Ersa Septianingrum¹, Widha Ardhiansyah², Nurjanah³

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Islam Balitar

³Politeknik Negeri Tanah Laut

e-mail: ¹adellia1309@gmail.com, ²Widhaardhiansyahstmt@gmail.com,
³nurjanah@politala.ac.id

Diterima: 14/2/2026; Direvisi: 20/2/2026; Diterbitkan: 25/2/2026

ABSTRAK

Jembatan merupakan suatu penyebrangan yang menghubungkan dua wilayah terpisah oleh hambatan alami seperti sungai atau danau. Keberadaan jembatan penting dalam mendukung mobilitas masyarakat dan pertumbuhan ekonomi suatu daerah. Namun pada jembatan Dawuhan dijumpai permasalahan penurunan (ambblas) pada oprit jembatan. Penurunan pada oprit tersebut dapat mengganggu kenyamanan pengguna jalan. Dari permasalahan yang terjadi pada jembatan Dawuhan Kecamatan Kademangan, melatarbelakangi untuk menganalisis penyebab terjadinya penurunan dan mencari solusi teknis yang dapat dilakukan. Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan diantaranya identifikasi masalah di lapangan, pengumpulan data tanah berdasarkan uji SPT, di analisis menggunakan *Rankine* dan *Mayerhof*, serta pembuatan pemodelan menggunakan *PLAXIS 2D*. *Rankine* digunakan untuk melihat besarnya tekanan aktif dan pasif pada tanah. *Mayerhof* digunakan untuk melihat daya dukung tanah. Lalu menggunakan *software PLAXIS 2D* untuk memberikan gambaran visual penurunan tanah. Hasil analisis menggunakan perhitungan *Rankine* menunjukkan bahwa tekanan aktif setiap per dua meter mengalami lonjakan yang besar, yang menandakan kecenderungan tanah mengalami pergeseran atau deformasi akibat beban di atasnya. Selain itu, metode *mayerhof* menunjukkan bahwa daya dukung tanah di bawah oprit sangat bervariasi tergantung pada kedalaman dan jenis tanahnya, namun pada lapisan tanah lunak jauh lebih rendah dibandingkan lapisan keras di bawahnya. Disimulasikan menggunakan *software PLAXIS 2D* memberikan gambaran visual deformasi tanah. Hasilnya menunjukkan area paling aktif mengalami deformasi adalah pada bagian timbunan oprit jembatan yang berada di atas tanah lunak. Deformasi yang terjadi sebesar 0,56 meter atau 56 cm.

Kata Kunci: *PLAXIS 2D, Penurunan Tanah, Rankine, Mayerhof*

ABSTRACT

A bridge is a structure that spans a gap, connecting two areas separated by natural obstacles, such as rivers or lakes. The existence of bridges plays a vital role in supporting community mobility and regional economic growth. However, at the Dawuhan Bridge, a settlement (subsidence) problem has been observed at the bridge approach embankment. This settlement can reduce driving comfort and compromise road serviceability. The issues occurring at the Dawuhan Bridge in Kademangan District motivated this study to analyze the causes of the settlement and to identify appropriate technical solutions. This research was conducted through several stages, including field problem identification, soil data collection based on Standard Penetration Test (SPT) results, analysis using the Rankine and Meyerhof methods, and numerical modeling using PLAXIS 2D. The Rankine method was applied to determine the magnitude of active and passive earth pressures, while the Meyerhof method was used to

evaluate soil bearing capacity. PLAXIS 2D was employed to provide a visual representation of soil deformation and settlement behavior. The results of the Rankine analysis indicate that the active earth pressure increases significantly at every two-meter interval, suggesting a high tendency for soil movement or deformation under applied loads. Furthermore, the Meyerhof method shows that the bearing capacity beneath the approach embankment varies with depth and soil type, with the soft soil layers exhibiting much lower bearing capacity compared to the underlying hard layers. Numerical simulation using PLAXIS 2D illustrates the pattern of soil deformation, indicating that the most critical deformation occurs within the embankment located above the soft soil layer. The maximum settlement obtained from the simulation is 0.56 m (56 cm).

Keywords: *PLAXIS 2D, Soil Settlement, Rankine, Meyerhof*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara berkembang yang secara masif melakukan pembangunan di berbagai sektor untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat. Prasarana transportasi berupa jalan dan jembatan memegang peranan vital dalam memastikan kelancaran arus logistik serta mobilitas manusia antar wilayah yang terpisah oleh kendala geografis. Secara ideal, infrastruktur penghubung ini harus mampu memberikan rasa aman dan nyaman bagi seluruh pengguna tanpa ada gangguan teknis yang berarti. Namun, tantangan alam seperti keberadaan sungai, selat, dan danau sering kali menjadi penghambat utama konektivitas darat sehingga pembangunan jembatan menjadi solusi yang mutlak diperlukan. Jembatan bukan sekadar struktur beton dan baja, melainkan urat nadi ekonomi yang menghubungkan desa satu dengan desa seberangnya demi memicu pertumbuhan finansial yang inklusif. Keberhasilan pembangunan jembatan diukur dari kemampuannya memangkas waktu tempuh serta meminimalisir biaya operasional kendaraan di lapangan. Oleh karena itu, integritas struktur dari setiap komponen jembatan harus dijaga dengan standar teknis yang sangat ketat agar fungsi pelayanan transportasi tetap berada pada level optimal sepanjang masa layannya bagi masyarakat luas di daerah tersebut demi kelancaran akses publik yang adil serta merata sepenuhnya (Ashad et al., 2023; Gao et al., 2024).

Struktur jembatan secara teknis terbagi menjadi 6 bagian pokok yang saling terintegrasi untuk menjamin stabilitas bangunan secara menyeluruh. Bagian tersebut meliputi bangunan atas, landasan atau bantalan *elastomer*, bangunan bawah, pondasi jembatan, *oprit* atau jalan pendekat, serta bangunan pengaman tambahan. Bangunan atas sendiri terdiri dari elemen kompleks seperti balok *girder* memanjang, balok diafragma melintang, plat lantai kendaraan, trotoar, hingga tiang sandaran serta *railing* pengaman. Sementara itu, bangunan bawah didominasi oleh keberadaan *abutment* dan pilar yang berfungsi menyalurkan beban menuju pondasi terdalam. Salah satu komponen yang sering kali menjadi titik kritis namun kurang mendapatkan perhatian mendalam adalah *oprit* jembatan. *Oprit* merupakan timbunan tanah urugan yang diletakkan tepat di belakang *abutment* dan wajib dibuat sepadat mungkin dengan tingkat kepadatan maksimal agar tidak terjadi penurunan elevasi di masa depan (Cotoarbă et al., 2025; Zahera et al., 2021). Kegagalan dalam mencapai kepadatan ideal pada bagian ini akan berakibat pada ketidaknyamanan berkendara saat memasuki atau meninggalkan badan jembatan. Pemahaman mendalam mengenai interaksi antara tanah timbunan dan struktur dinding penahan sangat diperlukan demi menjamin keamanan jangka panjang bagi seluruh infrastruktur penyeberangan di wilayah pedesaan terpencil (Babanagar et al., 2024; Salim & Suhendra, 2021).

Realita yang terjadi pada Jembatan Dawuhan di Kecamatan Kademangan, Kabupaten Blitar, menunjukkan adanya kesenjangan yang signifikan antara kondisi ideal yang direncanakan dengan kenyataan di lapangan. Meskipun jembatan tersebut merupakan proyek infrastruktur yang baru saja selesai dikerjakan, ditemukan permasalahan serius berupa penurunan atau amblasnya timbunan pada bagian *oprit*. Secara teoritis, jalan pendekat seharusnya tetap stabil dan rata dengan lantai jembatan, namun fakta menunjukkan adanya deformasi tanah yang mengganggu kelancaran lalu lintas. Penurunan ini tidak hanya merusak estetika bangunan, tetapi juga menimbulkan risiko keselamatan bagi pengendara yang melintas karena adanya perbedaan elevasi yang mendadak. Masalah ini menjadi bukti nyata bahwa proses pemadatan tanah atau analisis daya dukung tanah pada tahap konstruksi belum mencapai standar yang ditetapkan dalam spesifikasi teknis. Fenomena penurunan pada struktur baru ini memerlukan investigasi mendalam untuk mengidentifikasi apakah kegagalan berasal dari kesalahan desain atau material timbunan yang tidak sesuai. Investigasi ini sangat mendesak dilakukan agar kerusakan tidak meluas dan mengancam integritas komponen jembatan lainnya. Kegagalan fungsi pada titik ini menyebabkan manfaat ekonomi jembatan tidak dirasakan maksimal oleh warga sekitar (Fitriyah et al., 2023; Hong et al., 2024; Suarjana & Budiharto, 2023).

Untuk memecahkan teka-teki teknis mengenai penyebab penurunan tersebut, penelitian ini memanfaatkan kecanggihan *software* PLAXIS 2D sebagai instrumen analisis utama. Pemilihan perangkat lunak ini didasarkan pada kemampuannya dalam melakukan simulasi deformasi tanah dan stabilitas struktur dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi. PLAXIS 2D bekerja dengan membagi model menjadi potongan kecil atau elemen hingga sehingga memberikan *output* data yang lebih detail dan komprehensif dibandingkan metode manual tradisional (AL-DULAIMI & Seyedi, 2023; Ghutke et al., 2023). Fokus utama penggunaan aplikasi ini adalah untuk mengetahui secara pasti titik lemah pada lapisan tanah di bawah timbunan *oprit* Jembatan Dawuhan yang menyebabkan terjadinya fenomena amblas. Melalui pemodelan digital yang akurat, peneliti dapat melihat perilaku tanah saat menerima beban kendaraan maupun beban mati dari struktur itu sendiri. Hasil analisis digital ini diharapkan mampu menyajikan visualisasi pergerakan partikel tanah yang selama ini tidak kasat mata oleh pengamatan manual di lapangan. Keunggulan metodologi ini terletak pada kemampuannya mengolah variabel geoteknik yang kompleks menjadi informasi yang mudah dipahami. Penggunaan teknologi dalam evaluasi infrastruktur menjadi langkah cerdas untuk menjembatani keterbatasan pengamatan fisik guna menemukan solusi permanen atas permasalahan lapangan.

Nilai baru dan inovasi dari penelitian ini terletak pada penerapan analisis elemen hingga secara spesifik pada kasus kegagalan dini struktur jalan pendekat di wilayah Kabupaten Blitar. Melalui studi ini, ditemukan sebuah pendekatan baru dalam mengevaluasi parameter pemadatan dan karakteristik tanah lunak yang mungkin terabaikan selama proses pembangunan Jembatan Dawuhan berlangsung. Inovasi ini memberikan kontribusi penting bagi pengembangan ilmu geoteknik, khususnya dalam hal mitigasi risiko penurunan timbunan pada proyek serupa di masa yang akan datang. Fokus penelitian yang mengangkat judul analisis penurunan timbunan pada *oprit* Jembatan Dawuhan menggunakan *software* PLAXIS 2D bertujuan untuk memberikan rekomendasi teknis yang valid bagi instansi terkait. Keberhasilan dalam mengidentifikasi penyebab amblasnya tanah 1 ini akan menjadi referensi berharga bagi para insinyur dalam merancang struktur timbunan yang lebih resisten terhadap penurunan. Selain itu, penelitian ini menekankan pentingnya integrasi antara teknologi digital dan pengawasan lapangan untuk memastikan bahwa kualitas pembangunan tetap terjaga sesuai

dengan perencanaan awal. Dengan terselesaikannya permasalahan ini, diharapkan akses transportasi di Kecamatan Kademangan dapat kembali normal sehingga roda perekonomian masyarakat dapat berputar tanpa hambatan infrastruktur.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk mengevaluasi fenomena ambles pada jalan pendekat jembatan melalui rangkaian analisis teknis yang sangat sistematis. Fokus utama studi berada pada Jembatan Dawuhan yang berlokasi secara administratif di Jambangan, Desa Dawuhan, Kecamatan Kademangan, Kabupaten Blitar. Data primer yang digunakan bersumber dari hasil pengujian *Standard Penetration Test* pada dua titik pengeboran berbeda, yakni *borehole* satu dan dua, guna mendapatkan profil pelapisan tanah yang akurat. Selain data geoteknik berupa nilai *N-SPT*, penelitian ini juga memanfaatkan data struktural jembatan serta parameter pembebanan yang dihitung berdasarkan volume Lalu Lintas Harian Rata-rata di lokasi tersebut secara faktual. Seluruh data tersebut dikompilasi untuk memetakan kondisi eksisting penurunan yang terjadi di lapangan sebagai dasar utama pemodelan komputasi. Instrumen penelitian mencakup seperangkat data teknis dan dokumentasi fisik yang memberikan gambaran menyeluruh mengenai integritas oprit jembatan. Pengumpulan data dilakukan dengan cermat guna memastikan bahwa setiap variabel yang memengaruhi stabilitas timbunan dapat terwakili secara representatif dalam simulasi digital yang dilakukan pada tahap penelitian selanjutnya demi mencapai hasil yang valid.

Prosedur pelaksanaan diawali dengan identifikasi mendalam pada area yang mengalami deformasi untuk membatasi cakupan analisis pada titik paling kritis di sepanjang jalan pendekat. Selanjutnya, dilakukan perhitungan beban yang bekerja pada struktur jembatan dengan merujuk pada regulasi teknis yang berlaku dalam *Standar Nasional Indonesia* nomor satu tujuh dua lima tahun dua ribu enam belas tentang pembebanan jembatan. Analisis dilanjutkan dengan menghitung tekanan tanah lateral menggunakan metode Rankine guna menentukan besaran tekanan aktif dan pasif yang bekerja pada dinding penahan atau *abutment*. Secara bersamaan, daya dukung ultimit tanah di bawah struktur timbunan dievaluasi melalui metode Meyerhof untuk membandingkan kapasitas beban terhadap tekanan yang diterima dari berat oprit itu sendiri. Perhitungan ini melibatkan parameter luas penampang fondasi serta kedalaman tiang pancang untuk mendapatkan nilai daya dukung gesek dan ujung tiang secara spesifik. Tahapan ini sangat krusial dalam mendeteksi adanya ketimpangan antara beban kerja dan kemampuan tanah dasar dalam menopang urugan tanah. Seluruh hasil perhitungan manual ini menjadi basis validasi awal sebelum dilakukan pemrosesan data menggunakan teknologi simulasi elemen hingga yang jauh lebih kompleks.

Tahap akhir dari metodologi ini adalah pemodelan digital menggunakan *software* PLAXIS 2D untuk memvisualisasikan perilaku tanah secara dua dimensi dengan akurasi tinggi. Parameter masukan seperti berat isi tanah, sudut geser dalam, modulus elastisitas, serta permeabilitas diperoleh melalui korelasi standar terhadap nilai *N-SPT* yang telah dikumpulkan sebelumnya. Dalam perangkat lunak ini, kondisi pelapisan tanah dimodelkan sesuai dengan data *boring log* yang menunjukkan keberadaan lanau lempungan hingga mencapai lapisan batu cadas pada kedalaman tertentu. Proses analisis melibatkan pembentukan jaringan *mesh* yang kemudian diberikan beban sesuai dengan skenario lalu lintas dan berat sendiri struktur jembatan. Simulasi ini menghasilkan *output* berupa gambaran visual area deformasi dan besaran penurunan timbunan yang terjadi secara akumulatif dalam satuan meter. Melalui penggunaan metode elemen hingga ini, peneliti dapat mengidentifikasi letak lapisan tanah lunak yang menjadi penyebab utama kegagalan struktur jalan pendekat tersebut. Pendekatan

digital ini memungkinkan evaluasi yang lebih mendalam terhadap interaksi antara material timbunan dan kondisi geoteknik lokal guna merumuskan solusi perbaikan berupa *compaction grouting* yang paling efektif bagi infrastruktur transportasi tersebut.

Lokasi penelitian ini dilakukan pada Jembatan Dawuhan yang berlokasi di Jambangan, Dawuhan, Kecamatan Kademangan, Kabupaten Blitar seperti pada **Gambar 1** sebagai berikut:



Gambar 1. Lokasi Jembatan Dawuhan

Prosedur Analisis

1. Identifikasi kondisi lapangan, untuk mengetahui área yang mengalami penurunan;
2. Menghitung beban-beban yang bekerja pada jembatan sesuai SIN 1725-2016;
3. Perhitungan Tekanan tanah lateral menggunakan metode Rankine dengan rumus sebagai berikut :

$$P_a = z \cdot \gamma \cdot K_a$$

Keterangan : P_a = tekanan tanah aktif (kN/m^2)
 z = kedalaman tanah (m)
 γ = berat jenis tanah (kN/m^3)
 K_a = koefisien tekanan aktif $K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2})$
 ϕ = sudut gesek dalam tanah ($30^\circ + 0,2 \times N_{\text{SPT}}$)

$$P_p = z \cdot \gamma \cdot K_p$$

Keterangan : P_p = tekanan tanah pasif (kN/m^2)
 z = kedalaman tanah (m)
 γ = berat jenis tanah (kN/m^3)
 K_p = koefisien tekanan aktif $K_p = \tan^2(45^\circ + \frac{\phi}{2})$
 ϕ = sudut gesek dalam tanah ($30^\circ + 0,2 \times N_{\text{SPT}}$)

4. Perhitungan Daya dukung tanah menggunakan metode mayerhof dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_U = Q_p + Q_s$$

keterangan : Q_U = Daya dukung ultimit (kN)
 Q_p = Daya dukung tanah tiang (kN)
 Q_s = Daya dukung gesek tiang (kN)

$$Q_p = 40 + N_b + A_s$$

Keterangan : Q_p = kapasitas daya dukung batas fondasi tiang pancang (kN)
 N_b = nilai rata-rata SPT di ujung tiang
 A_s = luas penampang (m^2)

$$Q_s = N_{\text{spt}} \times A_s$$

$$A_s = \pi \cdot D \cdot \Delta L$$

Keterangan: Q_s = daya dukung gesek tiang (kN)

$$\begin{aligned}\Pi &= 3,14 \text{ (cm)} \\ D &= \text{diameter fondasi (cm)} \\ \Delta L &= \text{bentang kedalaman fondasi (m)}\end{aligned}$$

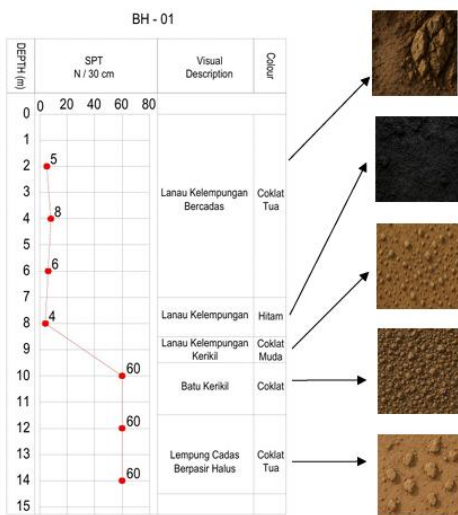
5. Mencari parameter tanah untuk pemodelan pada *PLAXIS 2D* berupa berat isi, sudut geser dalam, modulus elastisitas, dan permeabilitas yang diperoleh melalui korelasi estándar terhadap nilai N-SPT.
6. Pemodelan dengan *PLAXIS 2D*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

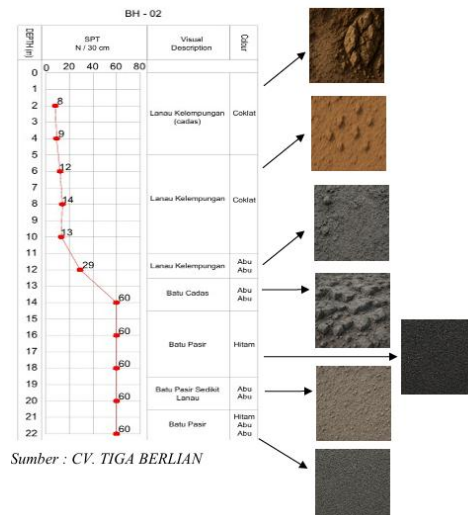
Hasil

1. Kondisi Geoteknik Lokasi

Berdasarkan data uji *standard penetration test* pada dua titik bor (BH-01 dan BH-02), lapisan tanah oprit jembatan Dawuhan terdiri dari lapisan tanah lunak pada bagian atas dan lapisan tanah yang lebih kaku pada tanah yang lebih dalam. Ditunjukkan pada **Gambar 2** dan **Gambar 3** grafik hasil uji SPT berikut :



Gambar 2. Boring Log 1 (BH-01)



Gambar 3. Boring Log 2 (BH-02)

2. Total beban bekerja pada jembatan yang telah dihitung sesuai dengan SNI 1725-2016 didapatkan 16788 kN.
3. Tekanan tanah lateral metode Rankine
Tekanan tanah lateral pada *boring log* 1 (BH-01) ditunjukkan pada **Tabel 1** dan **Tabel 2** berikut :

Tabel 1. Tekanan tanah aktif lateral borhole 1

Kedalaman (m)	N-SPT	Sudut geser dalam	Ka	Pa	γ
2	5	31	0.320	9.603	15
4	8	31.6	0.312	20.490	16.4
6	6	31.2	0.317	30.480	16
8	4	30.8	0.323	41.307	16
10	60	42	0.198	43.610	22
12	60	42	0.198	52.332	22
14	60	42	0.198	61.054	22

Tabel 2. Tekanan tanah pasif lateral borhole 1

Kedalaman (m)	N-SPT	Sudut geser dalam	Kp	Pp	γ
2	5	31	3.124	93.721	15
4	8	31.6	3.202	210.022	16.4
6	6	31.2	3.150	302.363	16
8	4	30.8	3.099	396.636	16
10	60	42	5.045	1109.830	22
12	60	42	5.045	1331.796	22
14	60	42	5.045	1553.762	22

Tekanan tanah lateral pada *boring log* 2 (BH-02) ditunjukkan pada **Tabel 3 dan Tabel 4** berikut :

Tabel 3. Tekanan tanah aktif lateral borhole 2

Kedalaman (m)	N-SPT	Sudut Geser dalam	Ka	Pa	γ
2	8	31.6	0.312	10.24502	16.4
4	9	31.8	0.310	20.57043	16.6
6	12	32.4	0.302	31.37149	17.3
8	14	32.8	0.297	42.09235	17.7
10	13	32.6	0.300	52.45428	17.5
12	29	35.8	0.262	65.98956	21
14	60	42	0.198	61.0544	22
16	60	42	0.198	69.77646	22
18	60	42	0.198	78.49852	22
20	60	42	0.198	87.22058	22
22	60	42	0.198	95.94263	22

Tabel 4. Tekanan tanah pasif lateral borhole 2

Kedalaman (m)	N-SPT	Sudut Geser dalam	Kp	Pp	γ
2	8	31.6	3.202	105.011	16.4
4	9	31.8	3.228	214.3349	16.6
6	12	32.4	3.309	343.4468	17.3
8	14	32.8	3.364	476.3469	17.7
10	13	32.6	3.336	583.8418	17.5
12	29	35.8	3.819	962.334	21
14	60	42	5.045	1553.762	22
16	60	42	5.045	1775.728	22
18	60	42	5.045	1997.694	22
20	60	42	5.045	2219.66	22
22	60	42	5.045	2441.626	22

Perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif menggunakan metode Rankine didapatkan lonjakan nilai tekanan aktif per dua meter yang besar, yang menandakan kecenderungan tanah mengalami pergeseran.

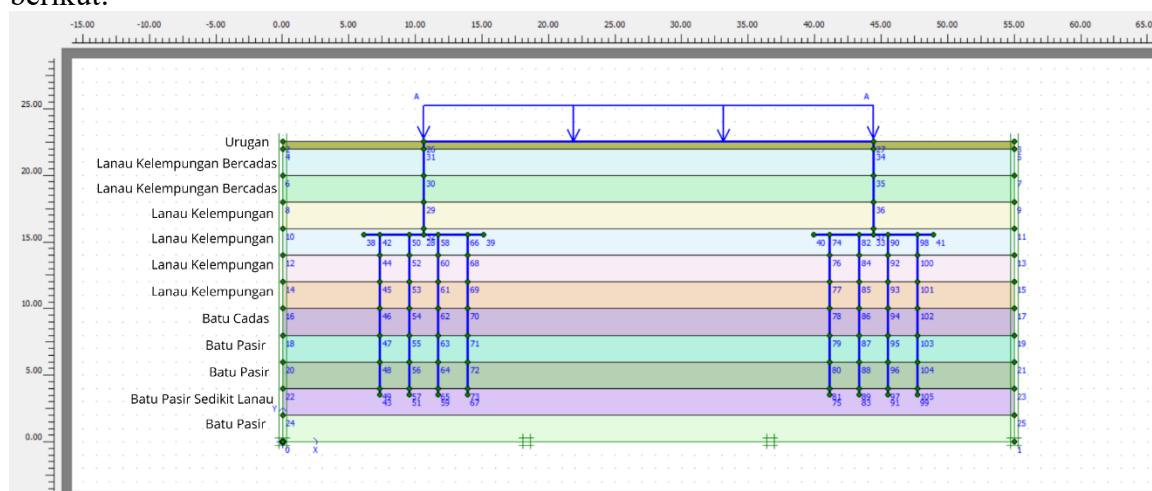
4. Daya dukung tanah metode mayerhof. Daya dukung tanah pada titik borhole 1 adalah 306533 kN. Daya dukung tanah pada titik borhole 2 adalah 306539 kN.
5. Pemodelan pada *PLAXIS 2D*

Parameter yang di input ke dalam *software PLAXIS 2D* yang didapatkan dari korelasi dengan hasil uji SPT. Ditunjukkan pada **Tabel 5** berikut :

Tabel 5. Parameter PLAXIS 2D

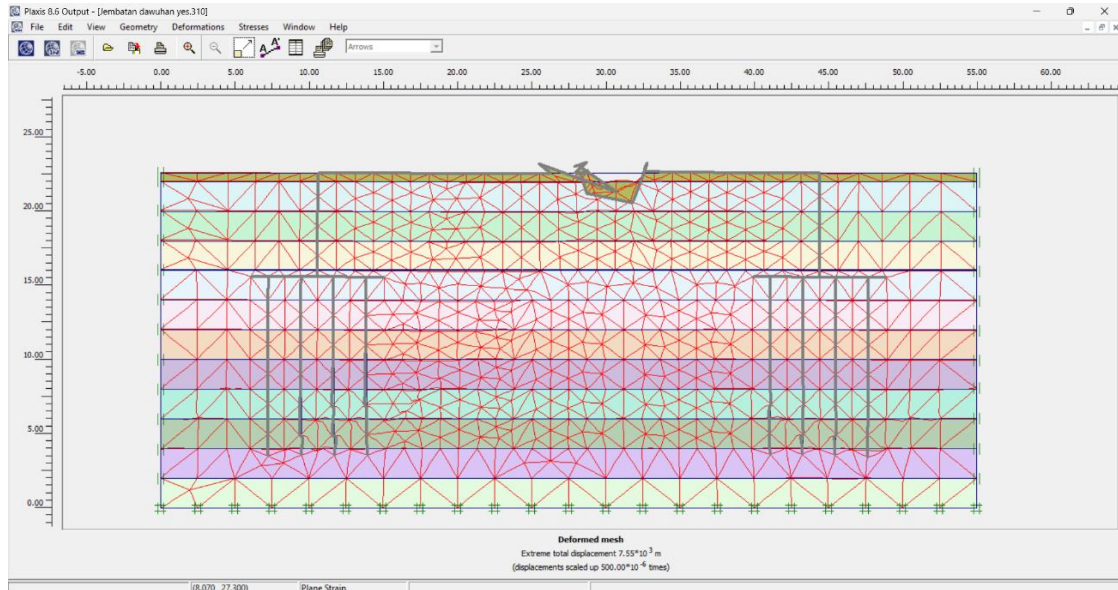
N-SP T	Kedalaman (m)	Nama Material	γ_{Unsat} kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	(K_x) mm/de t	(K_y) mm/de t	(E_{ref}) kN/m ²	(ν)	(c) kN/m ²	(ϕ) (°)	(ψ) (°)
8	2	Lanau kelepung n bercadas	9.2	19	10 ⁻⁸	10 ⁻⁸	13800	0.3 5	50	31. 6	0
9	4	Lanau kelepung n bercadas	9.63	19.43	10 ⁻⁸	10 ⁻⁸	13800	0.3 5	57.14	31. 8	0
12	6	Lanau kelepung n	10.9	20.71	10 ⁻⁷	10 ⁻⁷	13800	0.2 5	78.57	32. 4	0
14	8	Lanau kelepung n	11.77	21.57	10 ⁻⁷	10 ⁻⁷	13800	0.2 5	92.86	32. 8	0
13	10	Lanau kelepung n	11.34	21.14	10 ⁻⁷	10 ⁻⁷	13800	0.2 5	85.71	32. 6	0
29	12	Lanau kelepung n	12	21.80	10 ⁻⁷	10 ⁻⁷	13800	0.2 5	193.3 3	35. 8	0
60	14	Batu cadas	12.2	22	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	69000	0.2 0	250	42	0
60	16	Batu pasir	12.2	22	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	69000	0.2 0	250	42	0
60	18	Batu pasir	12.2	22	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	69000	0.2 0	250	42	0
60	20	Batu pasir sedikit lanau	12.2	22	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	69000	0.3 0	250	42	0
60	22	Batu pasir	12.2	22	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	69000	0.2 0	250	42	0

Bentuk pemodelan dari lapisan tanah pada *PLAXIS 2D* ditunjukkan pada **Gambar 4** berikut:



Gambar 4. Bentuk Pemodelan di Plaxis 2D

Gambar bentuk mesh setelah mengalami deformasi akibat beban atau perubahan kondisi tanah ditunjukkan pada **Gambar 5**. Terjadi penurunan pada timbunan sebesar 0,56 meter.



Gambar 5. Area Deformasi

Pembahasan

Berdasarkan penyelidikan geoteknik di lokasi jembatan Dawuhan, data dari *borehole* satu dan dua mengungkapkan stratifikasi tanah yang sangat kritis bagi kestabilan struktur. Lapisan atas didominasi oleh tanah lanau kelemungan bercadas yang bersifat lunak hingga sedang, sedangkan lapisan tanah keras baru ditemukan pada elevasi yang lebih dalam. Dengan total beban jembatan yang mencapai angka 16788 kN, keberadaan tanah lunak di permukaan ini menciptakan risiko signifikan terhadap stabilitas *approach embankment* atau oprit. Nilai hasil *standard penetration test* pada kedalaman delapan meter pertama terpantau masih rendah, yakni berada pada rentang angka 4 hingga 14, yang menunjukkan kurangnya kepadatan struktural tanah dasar. Kondisi geologi ini menjadi faktor utama yang mempengaruhi kinerja jangka panjang jembatan karena interaksi antara beban struktur yang berat dan lapisan tanah kompresibel memicu ketidakseimbangan distribusi tegangan. Akibatnya, lapisan tanah atas tidak mampu mendukung beban timbunan oprit secara efektif tanpa adanya perkuatan tambahan. Temuan awal ini menegaskan perlunya analisis mekanis yang lebih mendalam untuk memahami gaya lateral yang bekerja pada sistem fondasi serta potensi pergeseran vertikal di lokasi tersebut (Chandra & Makarim, 2021; Hidayat, 2021; Januar & Susilo, 2022; Zahera et al., 2021).

Perhitungan tekanan tanah lateral menggunakan metode Rankine memberikan gambaran yang lebih transparan mengenai perilaku horizontal massa tanah di area proyek. Terdapat lonjakan nilai *active earth pressure* yang sangat mencolok pada setiap interval kedalaman dua meter. Sebagai contoh, pada titik bor pertama, nilai tekanan aktif meningkat drastis dari 9,603 kN pada kedalaman dua meter menjadi 41,307 kN pada kedalaman delapan meter. Kenaikan tajam ini mengindikasikan adanya kecenderungan kuat bagi massa tanah untuk mengalami pergeseran lateral atau gelincir internal akibat beban gravitasi dan tekanan tanah itu sendiri. Meskipun daya dukung tanah menurut metode Meyerhof dihitung mencapai kisaran 306533 kN, angka teoretis ini lebih merepresentasikan kekuatan pada lapisan tanah dalam yang sudah kaku. Kekhawatiran utama terletak pada zona atas di mana sudut geser dalam relatif rendah, yakni sekitar 31 derajat. Selain itu, nilai *passive earth pressure* menunjukkan gradien yang signifikan hingga mencapai 1553,762 kN pada kedalaman 14 meter saat menyentuh lapisan batu cadas. Perbedaan numerik yang besar antara lapisan atas dan bawah ini

menandakan bahwa stabilitas lateral oprit sangat rentan terhadap dorongan horizontal tanah (Aldo & Susilo, 2019; Ashtiani et al., 2021; Lubis & Lubis, 2019).

Pemodelan numerik melalui *software* PLAXIS 2D memungkinkan dilakukannya penilaian kuantitatif dan visual terhadap tingkat deformasi tanah yang terjadi. Analisis dengan *finite element method* menghasilkan *mesh* yang secara eksplisit menunjukkan konsentrasi area perpindahan di bawah timbunan oprit jembatan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa terjadi penurunan atau *settlement* vertikal sebesar 0,56 meter atau setara dengan 56 centimeter pada area timbunan tersebut. Besaran penurunan ini tergolong sangat parah untuk sebuah infrastruktur jembatan karena dapat menimbulkan diskontinuitas atau gundukan pada transisi antara jalan pendekat dan gelagar jembatan. Parameter masukan seperti nilai kohesi yang mencapai 92,86 kN/m² pada kedalaman 8 meter terbukti tidak cukup kuat untuk melawan beban massa timbunan yang sangat besar. Area deformasi terpantau paling aktif pada lapisan lanau kelepungan atas yang memiliki nilai *Young's modulus* rendah sebesar 13800 kN/m². Simulasi ini berhasil mereplikasi kondisi lapangan di mana tanah lunak mengalami kompresi akibat berat material urugan oprit, yang pada akhirnya mengakibatkan perpindahan vertikal yang signifikan dan berpotensi merusak fungsionalitas jalan (Hsiung et al., 2025; Mooney et al., 2024; Sastrawinata & Suhendra, 2020).

Penyebab utama dari penurunan sebesar 56 centimeter yang teridentifikasi adalah keberadaan lapisan tanah lunak yang tebal dikombinasikan dengan pelaksanaan pemadatan tanah timbunan yang kurang optimal saat konstruksi. Ketidakmampuan tanah dalam memikul total beban 16788 kN secara proporsional mengakibatkan keruntuhan struktur pori tanah secara bertahap. Kondisi ini membawa implikasi serius terhadap keamanan dan kenyamanan pelayanan jembatan karena penurunan yang tidak seragam dapat merusak sambungan siar muai serta permukaan perkerasan jalan. Sebagai langkah mitigasi, metode *compaction grouting* dipilih sebagai teknik perbaikan tanah yang paling tepat untuk diaplikasikan. Metode ini bekerja dengan cara menyuntikkan material *grout* dengan viskositas tinggi di bawah tekanan tertentu untuk mengisi rongga dan memadatkan matriks tanah di sekitarnya secara mekanis. Melalui proses injeksi ini, tanah yang terdislokasi akan terdorong kembali ke atas dan daya dukung tanah secara keseluruhan akan meningkat secara signifikan. Intervensi ini sangat krusial karena mampu menyelesaikan masalah langsung pada sumbernya dengan menstabilkan lapisan lunak tanpa perlu melakukan pembongkaran total pada timbunan oprit yang sudah ada, sehingga lebih efisien secara biaya dan waktu (Adi et al., 2019; Prayitno & Purwanto, 2025; Sastrawinata & Suhendra, 2020; Zahera et al., 2021).

Rencana implementasi teknis untuk metode *compaction grouting* akan dilakukan sepanjang 13 meter yang tersebar pada sembilan titik injeksi utama. Berdasarkan data *standard penetration test*, proses injeksi harus mencapai lapisan tanah keras pada kedalaman 12 meter guna memastikan terciptanya tumpuan yang solid bagi struktur oprit. Lubang bor akan dibuat dengan diameter 90 mm menggunakan pipa injeksi berukuran 70 mm untuk menyalurkan material. Penggunaan merek SikaGrout-215 direkomendasikan karena memiliki karakteristik kekuatan tinggi dan sesuai dengan spesifikasi standar industri untuk perbaikan tanah bawah permukaan. Namun demikian, studi ini memiliki keterbatasan karena model PLAXIS 2D merupakan penyederhanaan dua dimensi dari interaksi tanah dan struktur tiga dimensi yang sebenarnya lebih kompleks. Keberhasilan proses *grouting* di lapangan juga sangat bergantung pada tingkat permeabilitas tanah aktual serta kontrol tekanan selama pelaksanaan dilakukan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menyertakan pemantauan lapangan menggunakan *inclinometer* dan *settlement plate* guna memverifikasi kinerja tanah pasca perbaikan.

Pendekatan terintegrasi ini akan memastikan bahwa oprit jembatan Dawuhan tetap stabil dan aman bagi lalu lintas publik selama umur rencana yang ditetapkan.

KESIMPULAN

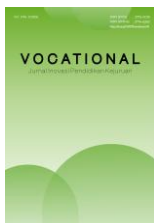
Berdasarkan hasil investigasi geoteknik dan pemodelan komputasi yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa fenomena penurunan (ambblas) pada oprit Jembatan Dawuhan di Kecamatan Kademangan, Kabupaten Blitar, secara fundamental disebabkan oleh ketidakmampuan lapisan tanah dasar dalam menahan akumulasi beban struktur yang mencapai 16.788 kN. Data profil tanah dari hasil pengujian Standard Penetration Test (SPT) pada dua titik pengeboran (BH-01 dan BH-02) secara konsisten mengonfirmasi keberadaan lapisan tanah lunak berupa lanau kelempungan bercadas pada elevasi dangkal, dengan nilai N-SPT yang sangat rendah berkisar antara 4 hingga 14 pada kedalaman 8 meter pertama. Kondisi geoteknik yang kritis ini divalidasi lebih lanjut melalui analisis tekanan tanah lateral metode Rankine yang menunjukkan lonjakan tekanan aktif secara signifikan pada setiap interval kedalaman 2 meter, mengindikasikan tingginya potensi pergeseran lateral massa tanah. Puncak pembuktian diperoleh melalui simulasi elemen hingga menggunakan software PLAXIS 2D, yang secara visual dan kuantitatif mereplikasi terjadinya deformasi vertikal atau penurunan (settlement) sebesar 0,56 meter (56 cm) yang terkonsentrasi tepat pada lapisan tanah lunak di bawah struktur timbunan oprit tersebut.

Sebagai solusi teknis yang komprehensif untuk memitigasi kegagalan struktur oprit yang berkelanjutan, penelitian ini merekomendasikan penerapan metode perbaikan tanah Compaction Grouting. Intervensi mekanis ini dirancang untuk menstabilkan lapisan tanah kompresibel tanpa perlu membongkar konstruksi jalan pendekat yang sudah ada. Secara operasional, proses grouting akan dilaksanakan pada 9 titik injeksi utama sepanjang bentang 13 meter, dengan target kedalaman mencapai 12 meter hingga menembus lapisan tanah keras yang stabil. Pelaksanaan teknis akan menggunakan metode pengeboran (coring) berdiameter 100 mm yang diintegrasikan dengan pipa injeksi berukuran 70 mm. Untuk menjamin efektivitas pengisian rongga dan peningkatan daya dukung matriks tanah secara optimal, material yang direkomendasikan adalah grout viskositas tinggi bermerek SikaGrout-215, yang telah memenuhi standar spesifikasi industri untuk perbaikan tanah bawah permukaan. Implementasi solusi ini diharapkan mampu mengembalikan stabilitas elevasi oprit secara permanen, sehingga Jembatan Dawuhan dapat kembali memberikan tingkat pelayanan lalu lintas yang aman dan nyaman bagi masyarakat luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, M. A. P., Lastiasih, Y., & Mochtar, I. B. (2019). Alternatif perencanaan timbunan jalan dengan material sirtu dan material ringan mortar busa pada jalan tol Batang – Semarang seksi III Weleri – Kendal STA 414+525 – STA 424+576. *Jurnal Transportasi Sistem Material Dan Infrastruktur*, 1(2), 72. <https://doi.org/10.12962/j26226847.v1i2.5029>
- Al-Dulaimi, M. A. M., & Seyedi, M. (2023). Numerical analysis of geogrids and recycled concrete aggregate for stabilizing road embankments. *Annales de Chimie Science Des Matériaux*, 47(4), 219. <https://doi.org/10.18280/acsm.470404>
- Aldo, A., & Susilo, A. J. (2019). Stabilitas dinding penahan tanah dengan ground anchor dan metode pelaksanaannya pada kondisi in-situ dan jenuh. *JMTS Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(4), 149. <https://doi.org/10.24127/jmts.v2i4.6178>

- Ashad, H., Putra, M. R., & Utina, T. (2023). Evaluasi kinerja struktur jembatan kabel pancang Pasupati Bandung. *Jurnal Teknik Sipil*, 30(3), 379. <https://doi.org/10.5614/jts.2023.30.3.6>
- Ashtiani, M., Nowkandeh, M. J., & Kayhani, A. (2021). Numerical modeling of the interaction of normal fault and shallow embedded foundation. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-514125/v1>
- Babanagar, N., Sheil, B., Ninić, J., Zhang, Q., & Hardy, S. (2024). Digital twins for urban underground space. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 155, 106140. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2024.106140>
- Chandra, J., & Makarim, C. A. (2021). Analisis model kegagalan rumah 2 lantai akibat negative skin friction dan curah hujan yang tinggi. *JMTS Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4(3), 623. <https://doi.org/10.24127/jmts.v0i0.12613>
- Cotoarba, D., Straub, D., & Smith, I. F. C. (2025). Probabilistic digital twins for geotechnical design and construction. *Data-Centric Engineering*, 6. <https://doi.org/10.1017/dce.2025.10008>
- Fitriyah, D. K., Irawan, D., Suswanto, B., & Habieb, A. (2023). Structural damage identification methods in truss bridge structures using vibration analysis: A review. *E3S Web of Conferences*, 434, 2020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343402020>
- Gao, Y., Xiong, G., Hu, Z., Chai, C., & Li, H. (2024). Bridge digital twin for practical bridge operation and maintenance by integrating GIS and BIM. *Buildings*, 14(12), 3731. <https://doi.org/10.3390/buildings14123731>
- Ghutke, V., Humaney, S., Zamare, K., Patode, V., Wasekar, R., Upadhyay, N., Banik, A., & Girehepunje, A. (2023). Stability of slopes under dynamic loading using FEM software. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11(4), 4277. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.51276>
- Hidayat, W. (2021). Analisis deformasi lateral grup pondasi tiang dengan perkuatan menggunakan tiang miring (batter piles) pada jembatan dermaga. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 25(1), 10. <https://doi.org/10.24843/jits.2021.v25.i01.p02>
- Hong, L., Li, Z., & Peng, Y. (2024). Application of lightweight steel-UHPC composite beam in bridge emergency repair. *Advances in Bridge Engineering*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s43251-024-00128-2>
- Hsiung, B. C. B., Prakasa, M. D. A., Phan, K., Moriasi, H., Teng, F., & Kuo, C. (2025). Impacts from consolidation caused by deep excavation in clay in Jakarta, Indonesia. In *CRC Press eBooks* (p. 392). Informa. <https://doi.org/10.1201/9781003645931-64>
- Januar, K., & Susilo, A. J. (2022). Pengecekan penampang fondasi tiang terhadap fenomena likuifaksi akibat gempa. *JMTS Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 735. <https://doi.org/10.24127/jmts.v5i4.20269>
- Lubis, M. K. Z., & Lubis, K. (2019). Evaluasi perbaikan tanah menggunakan geotekstil untuk meningkatkan stabilitas tanah lapisan subgrade pekerjaan jalan. *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, 3(2), 71. <https://doi.org/10.31289/jcebt.v3i2.2702>
- Mooney, M. A., Zheng, H., & Yu, H. (2024). Three implementations to reduce geotechnical risk on underground projects using information engineering and AI. In *CRC Press eBooks* (p. 49). Informa. <https://doi.org/10.1201/9781003413790-5>
- Prayitno, D. P., & Purwanto, E. (2025). Studi pemilihan alternatif perkuatan timbunan badan jalan di atas tanah lunak dengan metode elemen hingga dan sistem pengambilan



- keputusan. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 23(3), 253. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v23i3.23137>
- Salim, Y., & Suhendra, A. (2021). Analisis stabilitas back-to-back mechanically stabilized earth walls (studi kasus jalan layang di Sulawesi Selatan). *JMTS Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4(3), 657. <https://doi.org/10.24127/jmts.v0i0.12582>
- Sastrawinata, S., & Suhendra, A. (2020). Studi pengaruh material geosintetik dalam distribusi beban kerja pada konstruksi jalan di atas tanah lunak. *JMTS Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(1), 59. <https://doi.org/10.24127/jmts.v3i1.7055>
- Suarjana, M., & Budiharto, P. (2023). Evaluasi kinerja struktur jembatan kabel pancang Pasupati Bandung. *Jurnal Teknik Sipil*, 30(3), 367. <https://doi.org/10.5614/jts.2023.30.3.5>
- Zahera, N., Mochtar, I. B., & Satrya, T. R. (2021). Pemecahan masalah stabilitas abutment dan oprit jembatan di atas tanah lunak menggunakan relieving platform. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 19(3), 311. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v19i3.9510>