

Analisis Perkuatan Timbunan pada Oprit Jembatan Menggunakan *Pile Embankment*

LASKA AURELIA AGUSTIANA¹, IMAM HADIMAN¹,
ZAKWAN GUSNADI¹, ASRINIA DESILIA^{2*}

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi, Kota Tasikmalaya, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia, Kota Bandung, Indonesia

Email: asrinia@upi.edu

ABSTRAK

Pembangunan timbunan oprit jembatan di atas tanah lunak sering dihadapkan dengan permasalahan penurunan berlebih dan ketidakstabilan timbunan, sehingga dapat membahayakan pengguna jalan serta menimbulkan kerusakan struktural. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas metode perkuatan timbunan menggunakan pile embankment dibandingkan dengan timbunan tanpa perkuatan pada jalan Tol Trans Sumatera. Kondisi tanah dasar menunjukkan tanah lempung sedalam 10 meter dengan konsistensi medium hingga stiff dan tanah pasir sedalam 10 meter dengan konsistensi medium dense hingga very dense, serta kelas situs termasuk tanah lunak (SE). Data primer berupa uji SPT dengan analisis numerik menggunakan FEM 2D. Hasil analisis timbunan tanpa perkuatan menunjukkan penurunan sebesar 40,99 cm dalam waktu 5,353 tahun dengan konsolidasi 99%; mengalami kelongsoran dengan bentuk circle tipe deep sliding pada lapisan tanah pertama akibat beban lalu lintas. Sedangkan penggunaan perkuatan pile embankment dengan tiang spun pile diameter 60 cm; Load Transfer Platform (LTP) setebal 60 cm; dan penggunaan geogrid dapat mereduksi penurunan hingga 85,9%. Serta, faktor keamanan untuk kondisi statik sebesar 3,035 dan kondisi gempa sebesar 1,201. Sistem perkuatan pile embankment efektif mengatasi masalah penurunan dan stabilitas pada infrastruktur yang berdiri di atas tanah lunak.

Kata kunci: *Pile Embankment, Penurunan Konsolidasi, Stabilitas Lereng, Timbunan Oprit*

ABSTRACT

The construction of bridge approach embankments built on soft soil is often faced with problems of excessive settlement and embankment instability, can endanger road users and cause structural damage to bridge approaches. This research aims to analyze the effectiveness of embankment reinforcement methods using pile embankment compared to unreinforced embankments on the Trans Sumatera Toll Road. The subsoil conditions show a clay layer 10 meters deep with medium to stiff consistency and a sand layer 10 meters deep with medium dense to very dense consistency, with site class as soft soil (SE). Primary data from SPT tests and numerical analysis using 2D FEM. The results of unreinforced embankment analysis show settlement of 40.99 cm over 5.353 years with 99% consolidation, and the embankment experiences failure with a circular-type deep sliding pattern in the first soil layer due to traffic loads. Meanwhile, the use of pile embankment reinforcement using spun pile with 60 cm diameter, Load Transfer Platform (LTP) with 60 cm thickness, and the use of geogrid can reduce settlement by up to 85.9%. The safety factor for static conditions is 3.035 and for earthquake conditions is 1.201. The pile embankment reinforcement system is effective in addressing settlement and stability problems in infrastructure built on soft soil.

Keywords: *work-life balance, construction, construction worker, literature review*

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan struktur yang sengaja dibangun untuk melewati suatu rintangan berupa sungai, lembah, rel kereta api, jalan raya dan lain sebagainya. Oprit jembatan merupakan salah satu struktur yang berperan penting dalam konstruksi jembatan karena menghubungkan konstruksi perkerasan jalan raya dengan *abutment* [1]. Pembangunan oprit jembatan yang berdiri di atas tanah lunak sering dihadapkan dengan kendala yang cukup kompleks.

Penurunan berlebih dan ketidakstabilan timbunan merupakan masalah yang sering terjadi pada timbunan oprit jembatan yang berdiri di atas tanah lunak. Hal tersebut disebabkan oleh karakteristik tanah lempung yang memiliki indeks plastisitas tanah yang tinggi, daya dukung yang kurang memadai dan kompresibilitas tanah yang cukup tinggi [2]. Masalah penurunan berlebih dan ketidakstabilan timbunan dapat mengakibatkan ketidaknyamanan dalam berkendara serta menimbulkan kerusakan struktural pada infrastruktur. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah penurunan berlebih dan ketidakstabilan timbunan yaitu perkuatan menggunakan *pile embankment* [3]. Perkuatan timbunan menggunakan *pile embankment* merupakan metode perkuatan yang menggunakan tiang sebagai media untuk menahan beban yang bekerja di atas tanah dasar dan mendistribusikan beban kelapisan tanah keras. Perkuatan *pile embankment* dapat dikombinasikan dengan geosintetik untuk mengefektifkan distribusi beban dan mempersingkat waktu konstruksi [4]. Penggunaan tiang pancang tipe *spun pile* dapat dipilih karena memiliki daya dukung yang cukup tinggi, dapat mengefisiensikan waktu pemasangan dan ekonomis [5].

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis kondisi tanah dasar berdasarkan hasil pengujian tanah di lapangan sebagai dasar dalam analisis penurunan dan stabilitas timbunan tanpa dilakukan perkuatan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk merancang perkuatan *pile embankment* sehingga dapat mengendalikan penurunan dan meningkatkan stabilitas serta membandingkan efektivitas timbunan oprit jembatan pada kondisi tanpa perkuatan dengan timbunan oprit jembatan pada kondisi menggunakan perkuatan *pile embankment*.

2. METODOLOGI

2.1 Deskripsi Penelitian dan Kondisi Tanah Lapangan

Penelitian ini dilakukan pada timbunan oprit jembatan di salah satu pembangunan jalan tol Trans Sumatera. Pembangunan jalan tol tersebut dibangun sebagai akses yang menghubungkan dua wilayah di Sumatera. Adapun peta lokasi penelitian dapat dilihat pada (**Gambar 1**).

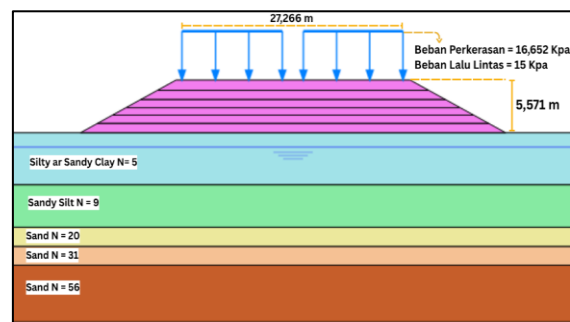


Gambar 1. Lokasi penelitian

Geometri dari timbunan oprit jembatan ditunjukkan oleh (**Gambar 2**), memiliki kemiringan lereng 1V:2H, sudut kemiringan lereng sebesar 27°; tinggi timbunan 5,571 m dan lebar 49,550 m. Material yang digunakan pada tanah timbunan merupakan material tanah *controlled backfill material* (CBM) yang telah melewati pengujian dan pengendalian kualitas. Parameter tanah timbunan disajikan pada **Tabel 4** dengan mengacu pada [6]. Pada kondisi timbunan oprit tanpa perkuatan dengan menggunakan perkuatan *pile embankment*, penimbunan dilakukan secara bertahap. Detail tinggi dari masing – masing tahapan penimbunan disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Ketinggian Tahapan Penimbunan

Tinggi Tahapan Penimbunan	Simbol	Timbunan Tanpa Perkuatan	Timbunan Dengan Perkuatan <i>Pile Embankment</i>
Pemasangan LTP	(m)	-	0,60
Penimbunan Pertama	(m)	1	1
Penimbunan Kedua	(m)	1	1
Penimbunan Ketiga	(m)	1	1
Penimbunan Keempat	(m)	1	1
Penimbunan Kelima	(m)	1	1
Penimbunan Keenam	(m)	0,571	0,971



Gambar 2. Geometri Timbunan

Pengklasifikasian situs pada lokasi penelitian, mengacu pada analisis menggunakan nilai N-SPT yang dihitung menggunakan **Persamaan 1**. Berdasarkan hasil analisis kelas situs yang disajikan pada **Tabel 2**, lokasi penelitian berada pada kategori kelas situs tanah lunak karena memiliki nilai < 15 [7].

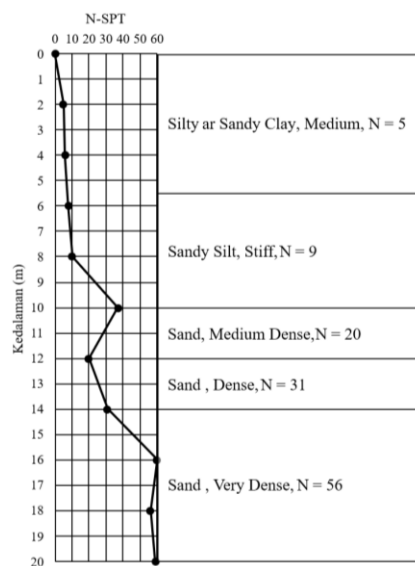
$$\bar{N}_{SPT} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Tabel 2. Klasifikasi Situs

No	Kedalaman	Tebal	N-SPT	
	z	d _i	N _i	d _i /N _i
	m	m		
1	0 – 2	2	5	0,400
2	2 – 4	2	6	0,333
3	4 – 6	2	8	0,250
4	6 – 8	2	10	0,200
5	8 – 10	2	37	0,054
6	10 – 12	2	20	0,100
7	12 – 14	2	31	0,065
8	14 – 16	2	61	0,033
9	16 – 18	2	56	0,036
10	18 – 20	2	59	0,034
Total		20		1,504
$\bar{N}$		13,295	SE (Tanah Lunak)	

Kondisi tanah dasar di lokasi penelitian pada (**Gambar 1**) ditemui muka air tanah pada kedalaman 1,5 m dan tanah dasar didominasi oleh tanah lempung dengan konsistensi *medium* hingga *stiff* pada kedalaman 0 – 10 m dan tanah pasir dengan konsistensi *medium dense* hingga *dense* pada kedalaman 10 – 20 m. Kondisi tanah tersebut dibuktikan melalui pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test with Pore Pressure Measurement* (CPTu).

Data hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) digunakan sebagai dasar dalam interpretasi kondisi tanah dengan menggunakan rumus empiris dan korelasi nilai tipikal untuk menentukan parameter tanah dasar. Stratifikasi tanah berdasarkan pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) disajikan pada (**Gambar 3**).



Gambar 3. Stratifikasi tanah hasil uji SPT

Parameter tanah dasar ditentukan berdasarkan jenis yang telah ditentukan pada (**Gambar 3**). Kuat geser tanah lempung dapat ditentukan melalui korelasi dengan nilai N-SPT [8] dan ditentukan dengan **Persamaan 2** berikut.

$$C_u = 5 \times N - SPT$$

Kohesi efektif dan sudut geser efektif tanah dapat ditentukan melalui uji laboratorium atau menggunakan nilai tipikal, adapun nilai tipikal yang dapat digunakan dapat dilihat pada **Tabel 3** [9].

Tabel 3. Parameter Kohesi Efektif (c') dan Sudut Geser Efektif (φ')

Soil group	Typical soils in group	Soil parameters	
		c' [kPa]	φ' [°]
Poor	Soft and firm clay of medium to high plasticity; silty clays; loose variable clayey fills; loose sandy silt	0 – 5	17 – 25
Average	Stiff sandy clays; gravelly clays; compact clayey sands and sandy silt; compacted clay fills	0 – 10	26 – 32
Good	Gravelly sands, compacted sands, controlled crushed sandstone and graveled fills, dense well graded sands	0 – 5	32 – 37
Very good	Weak weathered rock, controlled fills of road base, gravel and recycled concrete	0 – 25	36 – 43

Nilai indeks pemampatan untuk tanah lempung dengan konsistensi *medium* berkisar 0,05 – 0,15 dan untuk konsistensi *stiff* berkisar 0,025 – 0,05 [10]. Permeabilitas arah vertikal tanah

lempung berkisar $10^{-11} - 10^{-12}$ m/det dan untuk tanah pasir berkisar $10^{-5} - 10^{-7}$ m/det [8] dan nilai permeabilitas arah horizontal sebesar 2 kali dari nilai permeabilitas arah vertikal atau dihitung dengan menggunakan **Persamaan 3** berikut.

$$Kh = \left(\frac{1}{251 \times t_{50}} \right)^{1,25}$$

Modulus elastisitas untuk tanah lempung dengan konsistensi medium berkisar 4 – 8 MPa dan untuk konsistensi tanah *stiff* berkisar 7 – 20 MPa. Sedangkan untuk tanah pasir dengan konsistensi *medium dense* modulus elastisitas berkisar 10 – 25 MPa dan untuk tanah pasir dengan konsistensi dense hingga *very dense* berkisar 25 – 50 MPa [8].

Tabel 4. Parameter Tanah

Kedalaman [m]	Jenis Tanah	Konsistensi	N-SPT	γ_n [kN/m ³]	C_u [kN/m ²]	c' [kN/m ²]	ϕ [°]	e_0	C_c	C_s	μ	E [kPa]	K_v [m/day]	K_h [m/day]
-	Timbunan	-	-	17	55	-	-	0,5	-	-	0,3	10000	0,8640E-3	0,8640E-3
0 – 5,5	<i>Silty or Sandy Clay</i>	<i>Medium</i>	5	18	25	4	22	0,6	0,125	0,013	0,4	5000	9,152E-05	1,830E-04
5,5 – 10	<i>Sandy Silt</i>	<i>Stiff</i>	9	19	45	6	27	1,0	0,046	0,005	0,4	8857,14	9,152E-05	1,830E-04
10 – 12	<i>Sand</i>	<i>Medium Dense</i>	20	21	-	-	35	0,45	-	-	0,3	17500	8,200E-03	1,640E-02
12 – 14	<i>Sand</i>	<i>Dense</i>	31	21	-	-	41	0,45	-	-	0,3	26250	6,220E-03	1,244E-02
14 – 20	<i>Sand</i>	<i>Very Dense</i>	56	21	-	-	48	0,45	-	-	0,3	40000	1,720E-03	3,440E-03

2.2 Pemodelan FEM 2D

Pemodelan dan analisis yang dilakukan pada *software* FEM 2D merupakan analisis timbunan opit jembatan tanpa perkuatan dan analisis perkuatan timbunan oprit jembatan menggunakan *pile embankment*. Kondisi timbunan tanpa dilakukan perkuatan, beban yang bekerja diatas tanah dasar ditanggung sepenuhnya oleh tanah dasar. Sehingga beban yang ditahan disesuaikan dengan kemampuan tanah dasar dalam menahan beban yang bekerja. Sedangkan pada kondisi timbunan menggunakan perkuatan *pile embankment* beban yang bekerja pada tanah dasar disalurkan melalui tiang ke lapisan tanah keras.

Pada pemodelan menggunakan *software* FEM 2D tanah dasar dan tanah timbunan dimodelkan menggunakan tipe *Hardening Soil*. Tiang pancang dimodelkan menggunakan material *Embedded Beam* dan *Pile Cap* dimodelkan menggunakan material *Plat*. Tiang pancang berfungsi sebagai elemen struktur untuk menahan timbunan yang dilengkapi dengan *pile cap* sebagai penghubung struktur atas dengan tiang. Tiang pancang digunakan untuk mendistribusikan beban yang bekerja pada timbunan ke lapisan tanah keras. Penggunaan tiang pancang berfungsi untuk mengurangi penurunan, meningkatkan kestabilan timbunan dan mengefisienkan waktu pemasangan. Parameter tiang pancang dan *pile cap* disajikan pada **Tabel 5** dan **Tabel 6**.

Load Transfer Platform (LTP) merupakan material pendukung yang dapat menyalurkan beban yang bekerja pada timbunan ke struktur bawah dan ditempatkan diantara timbunan dengan perkuatan. Tebal kritis dari LTP merupakan 2/3 dari jarak bersih tiang yang digunakan [11]. Material pengisi LTP yang digunakan pada penelitian ini merupakan material tanah granular dengan tebal 60 cm dan diperkuat menggunakan *geogrid* dengan kuat tarik ultimit sebesar

300 kN/m yang diamparkan setiap 30 cm. Pada pemodelan menggunakan *software* FEM 2D *geogrid* dimodelkan sebagai dengan material elastik dengan tipe *geogrid* biaksial.

Tabel 5. Parameter Tiang Pancang

Parameter	Simbol	Satuan	Nilai
Identifikasi		Tiang Pancang	
Tipe Tiang		<i>Spun Pile</i>	
Berat Jenis	γ	kN/m ³	24
Mutu Tiang	f'_c	MPa	52
Diameter	d	cm	60
Ketebalan	t	cm	10
Panjang Tiang	L	m	12
Jarak Pemasangan	$L_{spacing}$	m	1,5
Modulus Elastisitas Tiang	E	kN/m ²	33.892.181,99

Tabel 6. Parameter *Pile Cap*

Parameter	Simbol	Satuan	Nilai
Identifikasi		<i>Pile Cap Precast</i>	
Berat Jenis	γ	kN/m ³	24
Mutu <i>Pilecap</i>	f'_c	MPa	52
Panjang	p	cm	100
Lebar	l	cm	100
Tebal	h	cm	30
Inersia	I	m ⁴	0,0273
Modulus Elastisitas	E	kN/m ²	33.892.181,99

Tahapan konstruksi pada timbunan tanpa perkuatan dilakukan dengan penimbunan secara bertahap dilanjutkan dengan penambahan beban perkerasan dan penambahan beban lalu lintas. Sedangkan pada kondisi timbunan dengan perkuatan *pile embakment*, tahapan konstruksi dimulai dengan instalasi tiang pancang dan *pile cap*, dilanjutkan instalasi *Load Transfer Platform* (LTP) dan *geogrid*, dilanjutkan penimbunan bertahap dan dilanjutkan dengan penambahan beban perkerasan dan beban lalu lintas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Daya Dukung

Analisis daya dukung pada tanah dasar dilakukan untuk mengetahui kemampuan tanah dasar dalam menahan beban yang bekerja diatasnya. Daya dukung tanah berada dalam kategori aman apabila daya dukung tanah dasar melebihi beban rencana. Analisis daya dukung menggunakan teori dari Terzaghi, dengan menggunakan **Persamaan 4** dan daya dukung izin dihitung menggunakan **Persamaan 5** berikut [12].

$$Q_{ult} = C \cdot N_c + Df \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

dengan:

- Q_{ult} = daya dukung ultimate (kN/m²),
- C = nilai kohesi tanah,
- γ = berat volume tanah,
- B = lebar timbunan,
- N_c, N_q, N_γ = koefisien daya dukung tanah.

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{FK}$$

dengan:

- Q_{all} = daya dukung izin (kN/m²),
- Q_{ult} = daya dukung ultimit (kN/m²),
- FK = faktor keamanan timbunan = 1,5 [7].

Tabel 7. Rekapitulasi Daya Dukung

No	Kedalaman [m]	Jenis Tanah	N-SPT	Q_{ult} [kN/m ²]	Q_{all} [kN/m ²]	Beban [kN/m ²]	Pengecekan
1	0 – 5,5	<i>Silty ar Sandy Clay</i>	5	143	95	131,93	Tidak Aman
2	5,5 – 10	<i>Sandy Silt</i>	9	2.567	171	131,93	Aman
3	10 – 12	<i>Sand</i>	20	23.626	15.750	131,93	Aman
4	12 – 14	<i>Sand</i>	31	73.733	49.156	131,93	Aman
5	14 – 20	<i>Sand</i>	56	558.151	372.101	131,93	Aman

Hasil analisis daya dukung tanah dasar pada kondisi timbunan oprit tanpa adanya perkuatan yang disajikan pada **Tabel 7** menunjukkan lapisan dasar tanah pertama memiliki kapasitas daya dukung tanah yang rendah. Hal tersebut ditandai dengan nilai daya dukung izin lebih kecil dibandingkan beban rencana sehingga menyebabkan tanah tidak mampu menahan beban yang bekerja di atasnya sehingga lapisan tanah dasar pertama berada dalam kategori tidak aman.

3.2 Analisis Penurunan

Penurunan tanah terjadi disebabkan oleh penambahan beban diatas tanah dasar sehingga mengakibatkan peningkatan tegangan efektif dan regangan. Peningkatan tersebut terjadi karena berkurangnya rongga pada tanah [13]. Pada penelitian ini analisis penurunan dilakukan pada kondisi timbunan oprit tanpa perkuatan dan kondisi timbunan menggunakan perkuatan *pile embankment*.

Penurunan tanah akibat beban yang bekerja merupakan akumulasi dari penurunan seketika dan penurunan konsolidasi. Pada tanah lempung penurunan yang terjadi cukup besar dan membutuhkan waktu yang sangat lama. Penurunan total, penurunan seketika, penurunan konsolidasi dan waktu konsolidasi tadapat dihitung menggunakan Persamaan (6), (7), (8), dan (9) berikut [12].

$$S_t = S_i + S_c + S_s$$

dengan:

- S_t = penurunan total,
- S_i = penurunan seketika,
- S_c = penurunan konsolidasi primer,
- S_s = penurunan konsolidasi sekunder,

$$S_i = q_0(\alpha B') \frac{1 - \mu^2}{E_s} I_s I_f$$

dengan:

- q_0 = beban timbunan (kN/m²),
- E_s = modulus elastisitas rata – rata,
- μ = angka poisson,
- B' = lebar timbunan efektif,
- I_s = faktor bentuk,
- I_f = faktor kedalaman.

$$S_c = \frac{C_c H}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'}{\sigma'_0}$$

dengan:

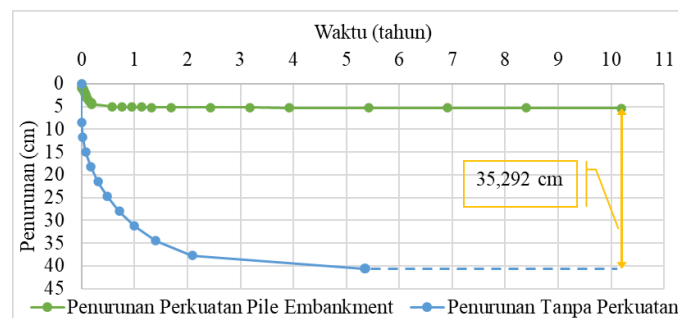
- C_c = indeks pemampatan,
- H = tebal lapisan (m),

e_0 = angka pori,
 σ'_0 = tegangan vertikal efektif (kN/m²),
 $\Delta\sigma'$ = distribusi tegangan (kN/m²).

$$t = \frac{T_v(H_{dr})^2}{C_v}$$

dengan:

t = waktu konsolidasi,
 T_v = faktor waktu,
 H_{dr} = panjang aliran maksimum,
 C_v = koefisien konsolidasi arah vertikal.



Gambar 4. Grafik perbandingan penurunan terhadap waktu

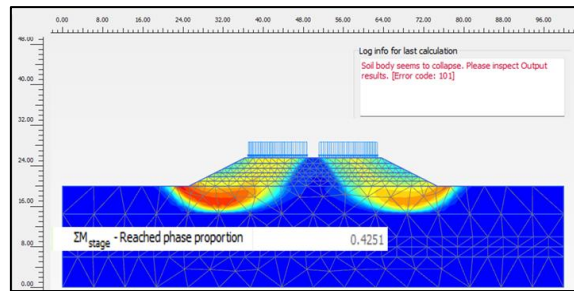
Hasil analisis penurunan yang dihitung menggunakan **Persamaan 6** menunjukkan pada kondisi timbunan oprit tanpa perkuatan menunjukkan total penurunan sebesar 40,663 cm dengan waktu konsolidasi selama 5,353 tahun pada derajat konsolidasi U90%. Sedangkan pada kondisi timbunan menggunakan pile embankment menunjukkan besar penurunan sebesar 4,194 cm untuk penurunan masa konstruksi, pada masa operasional penurunan sebesar 1,176 cm dan penurunan total sebesar 5,370 cm selama 10 tahun. Berdasarkan **Gambar 4** selisih penurunan timbunan tanpa perkuatan dengan timbunan menggunakan *pile embankment* sebesar 35,292 cm.

3.3 Analisis Stabilitas

Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dari bidang longsor baik pada kondisi tanpa perkuatan maupun kondisi setelah dilakukan perkuatan [14]. Analisis stabilitas dilakukan dengan menggunakan *software* FEM 2D. Analisis stabilitas pada lereng timbunan dilakukan pada kondisi statik dan kondisi gempa. Nilai faktor keamanan dihitung menggunakan **Persamaan 10** berikut [15].

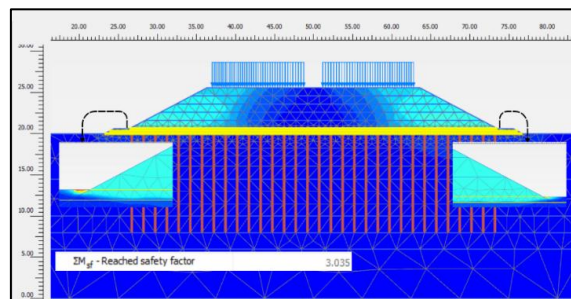
$$\sum Msf = \frac{c'_{input}}{c'_{reduksi}} = \frac{\tan \phi'_{input}}{\tan \phi'_{reduksi}}$$

Analisis stabilitas dilakukan pada timbunan oprit tanpa perkuatan dan timbunan menggunakan perkuatan *pile embankment*. Analisis stabilitas lereng timbunan oprit dilakukan pada kondisi statik dan kondisi gempa. Pada kondisi timbunan tanpa perkuatan yang ditunjukkan oleh (**Gambar 5**) lereng timbunan mengalami kelongsoran dengan betuk *circle* tipe *deep sliding* pada tanah dasar lapisan pertama akibat beban lalu lintas. Hal tersebut disebabkan oleh kemiringan yang dimiliki timbunan <53° dan tanah dasar memiliki kekuatan yang kecil dibandingkan beban yang bekerja.

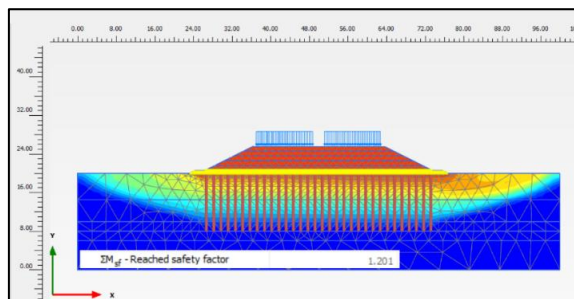


Gambar 5. Bidang longsor lereng timbunan tanpa perkuatan

Sedangkan pada kondisi timbunan menggunakan perkuatan *pile embankment*, hasil analisis stabilitas pada kondisi statik yang ditunjukkan oleh (**Gambar 6**) faktor keamanan sebesar 3,035 dan pada kondisi gempa yang ditunjukkan oleh (**Gambar 7**) faktor keamanan sebesar 1,201. Hasil tersebut menunjukkan stabilitas lereng timbunan berada dalam kategori stabil dan aman karena melebihi batas nilai faktor keamanan.



Gambar 6. Bidang longsor lereng timbunan menggunakan perkuatan *pile embankment* pada kondisi statik



Gambar 7. Bidang longsor lereng timbunan menggunakan perkuatan *pile embankment* pada kondisi gempa

3.4 Perbandingan Timbunan Oprit Jembatan Tanpa Perkuatan dengan Perkuatan *Pile Embankment*

Perbandingan timbunan pada kondisi tanpa perkuatan dengan perkuatan *pile embankment* dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan perkuatan dalam menangani permasalahan penurunan dan stabilitas. Hasil analisis dari kedua kondisi disajikan pada berikut **Tabel 8**.

Berdasarkan hasil analisis penggunaan perkuatan *pile embankment* pada oprit jembatan efektif dalam menangani masalah penurunan dan meningkatkan stabilitas lereng timbunan karena dapat mereduksi penurunan hingga 86% dan dapat meningkatkan stabilitas secara signifikan pada kondisi statik hingga 613% dan pada kondisi gempa hingga 182%.

Tabel 8. Perbandingan Hasil Analisis

Analisis	Tanpa Perkuatan	Perkuatan <i>Pile Embankment</i>
Penurunan (cm)	40,663	5,370
Faktor Keamanan Statik	<i>Collaps</i> pada beban lalu lintas	3,305
Faktor Keamanan Gempa	<i>Collaps</i> pada beban lalu lintas	1,201

4. KESIMPULAN

Perkuatan timbunan oprit menggunakan *pile embankment* yang dikombinasikan dengan pemasangan *Load Transfer Platform* (LTP) merupakan salah satu metode yang efektif untuk menangani masalah penurunan berlebih dan ketidakstabilan timbunan. Hal tersebut, dibuktikan melalui hasil analisis timbunan oprit timbunan oprit tanpa perkuatan mengalami penurunan sebesar 40,663 cm dengan waktu konsolidasi 5,353 tahun dan mengalami keruntuhan pada penambahan beban lalu lintas. Sedangkan timbunan oprit menggunakan perkuatan *pile embankment* total penurunan sebesar 5,370 cm dan meningkatkan stabilitas secara signifikan dengan faktor keamanan pada kondisi statik sebesar 3,305 dan kondisi gempa sebesar 1,201.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Umum, K. P., & Rakyat, P. (2017). Modul 3 Prosedur Pemeliharaan Jembatan. Jakarta hal, 5.
- [2] Sarifah, F. (2012) "Studi Stabilitas dan Penurunan Oprit Jembatan Tallo Makassar," Inst. Teknol.
- [3] Márcio de Souza, S. A., & Marques, M. E. S. (2013). Design and performance of embankments on very soft soils. CRC Press.
- [4] Han, J. (2015). Principles and practice of ground improvement. John Wiley & Sons.
- [5] Fatimah, W. N. (2023, January). Studi Perbandingan Biaya dan Waktu Penggunaan Pondasi Tipe Tiang Pancang (Spun Pile) Terhadap Pondasi Tiang Bor (Bored Pile) Pada Proyek Pembangunan Gedung B Kapal Api Office Gambir. In Technopex 2022.
- [6] Fahmi, M., & Ikhyia, I. (2020). Analisis Stabilitas Timbunan pada Tanah Dasar Berbentuk Lereng dengan Metode Elemen Hingga. RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil, 6(3), 179.
- [7] Indonesia, S. N. (2017). Persyaratan perancangan geoteknik. SNI, 8460, 2017.
- [8] Look, B. G. (2007). Handbook of geotechnical investigation and design tables. Taylor & Francis.
- [9] Ameratunga, J., Sivakugan, N., & Das, B. M. (2016). Correlations of soil and rock properties in geotechnical engineering.
- [10] Carter, M., & Bentley, S. P. (2016). Soil properties and their correlations. John Wiley & Sons. ASIRI National Project, Recommendations For The Design, Construction And Control Of Rigid Inclusion Ground Improvements. 2010.
- [11] Das, B. M., & Sobhan, K. (2014). Principles of geotechnical engineering, SI edition. Cengage Learning, Boston.
- [12] Hakim, A. M. (2022). PEER REVIEW-Evaluasi Perilaku Penurunan Tanah Pada Konstruksi Bangunan Stone Crusher Plant di Maloko.
- [13] Sungkar, M., & Munirwan, R. P. (2020). Analisis stabilitas lereng dengan metode bishop dan perkuatan sheet pile. Journal of The Civil Engineering Student, 2(3), 309-315.
- [14] Gusnadi, Z., Handiman, I., & Sarifah, F. (2023). Analisa Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Controlled Modulus Columns (CMC) pada Konstruksi Timbunan Jalan. Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 4(2).