

ALTERNATIF PERKUATAN TIMBUNAN BADAN JALAN REL TERHADAP LONGSOR MENGGUNAKAN GEOTEXTILE DI PROYEK JALUR GANDA MOJOKERTO- SEPANJANG PADA KM 48+400 HINGGA KM 49+500

Griselda Elysia Putri Sabililla
Teknologi Bangunan dan Jalur
Perkeretaapian
Politeknik Perkeretaapian
Indonesia
Jalan Tirta Raya, Nambangan Lor,
Manguharjo, Madiun, Jawa Timur
63129
Griselda.tbjp1913@taruna.ppi.ac.id

Ayu Prativi¹
Teknologi Bangunan dan Jalur
Perkeretaapian
Politeknik Perkeretaapian
Indonesia
Jalan Tirta Raya, Nambangan
Lor, Manguharjo, Madiun, Jawa
Timur 63129
Ayu.prativi@pengajar.ppi.ac.id

Yuwono Wiarco
Teknologi Bangunan dan Jalur
Perkeretaapian
Politeknik Perkeretaapian
Indonesia
Jalan Tirta Raya, Nambangan
Lor, Manguharjo, Madiun,
Jawa Timur 63129
yuwono@ppi.ac.id

Abstract

The Mojokerto-Sepanjang double track rail road construction project is mostly located in rice fields and swamps. Generally, the soil in the area is soft soil with low bearing capacity so that it has a high potential to experience landslides when receiving the load of the railroad embankment construction and the burden of passing train facilities. To prevent landslides, this study analyzes the stability of the embankment of the rail road at KM 48+400 to KM 49+500 and plans for alternative reinforcement of embankment soil using geotextile materials. The analysis process begins by correlating sondir values to soil parameters, calculating the loading acting on the surface of the embankment, determining the location of the slip plane with the most critical safety value, and determining the need for geotextiles for reinforcement of the embankment. The total load acting on the surface of the embankment due to the construction load of the railroad and locomotives crossing is 9.48 kPa. The results of the embankment stability analysis on the XSTABL auxiliary program show that the minimum safety factor value of the railroad embankment with a height of 9.4 m is 0.77. To achieve the design safety factor of 1.5, a geotextile with a longitudinal tensile strength of 300 kN/m is required as many as 124 rolls.

Keywords: Soft soil, Railroad, Embankment Stability, XSTABL, Geotextile

Abstrak

Proyek konstruksi jalan rel jalur ganda Mojokerto-Sepanjang sebagian besar berada di daerah persawahan dan rawa. Umumnya, tanah pada daerah tersebut merupakan tanah lunak dengan daya dukung rendah sehingga berpotensi tinggi mengalami longsor saat menerima beban konstruksi timbunan jalan rel dan beban sarana kereta api yang melintas. Untuk mencegah terjadinya longsor, penelitian ini melakukan analisis stabilitas timbunan badan jalan rel di KM 48+400 sampai KM 49+500 dan melakukan perencanaan alternatif perkuatan tanah timbunan menggunakan material geotekstil. Proses analisis dimulai dengan melakukan korelasi nilai sondir terhadap parameter tanah, menghitung pembebanan yang bekerja di permukaan timbunan, menentukan lokasi bidang gelincir dengan nilai keamanan paling kritis, serta menentukan kebutuhan geotekstil untuk perkuatan timbunan. Jumlah beban yang bekerja di permukaan timbunan akibat beban konstruksi jalan rel dan lokomotif yang melintasi adalah sebesar 9,48 kPa. Hasil analisis stabilitas timbunan pada program bantu XSTABL menunjukkan nilai faktor keamanan minimum timbunan jalan rel dengan ketinggian 9,4 m adalah 0,77. Untuk mencapai faktor keamanan rencana 1,5 dibutuhkan geotekstil dengan kuat tarik memanjang 300 kN/m sebanyak 124 rol.

Kata Kunci: Tanah lunak, Jalan rel, Stabilitas timbunan, XSTABL, Geotekstil

¹ Corresponding Author: Ayu.prativi@pengajar.ppi.ac.id

PENDAHULUAN

Berdasarkan Rencana Induk Perkeretaapian Nasional tahun 2030 pemerintah melakukan upaya untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi dengan melakukan pembangunan khususnya pada bidang perkeretaapian untuk menunjang perkembangan moda transportasi kereta api. Hal ini terealisasi dengan diadakannya proyek pembangunan jalur ganda kereta api dari kota Mojokerto hingga Sepanjang. Proyek jalur ganda lintas Mojokerto–Sepanjang memiliki panjang proyek sekitar 33 km. Dari total panjang tersebut, sekitar kurang lebih 8 km jalan rel didirikan di atas daerah persawahan dan 10 km didirikan di atas daerah rawa. Kondisi tanah pada kedua daerah tersebut cenderung lunak sehingga memiliki daya dukung yang rendah dan mudah mengalami longsor ketika menerima beban timbunan untuk konstruksi jalan rel. Salah satu segmen jalan rel yang dibangun di atas tanah rawa berada di KM 48+400 hingga KM 49+500. Oleh karena itu, pada segmen tersebut akan dilakukan analisis stabilitas timbunan jalan rel terhadap longsor dan kemudian dilakukan perencanaan alternatif perkuatan timbunan menggunakan geotekstil. Menurut (SNI-8460-2017, 2017) tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik, geotekstil merupakan salah satu jenis geosintetik yang terbuat dari bahan *polypropylene polymer* dan sering digunakan dalam sistem atau kebutuhan suatu struktur. Metode dalam penelitian ini adalah menggunakan metode Bishop Simplified yang dibantu dengan perangkat lunak XSTABL untuk perhitungan analisis stabilitas longsor. Kemudian dari hasil analisis tersebut didapatkan nilai faktor keamanan minimum dan momen tahanan minimum yang digunakan sebagai perhitungan kebutuhan geotekstil. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan jumlah kebutuhan geotekstil yang digunakan sebagai perkuatan tanah untuk menahan longsor akibat tanah lunak pada daerah rawa.

PEMBAHASAN

Menentukan parameter tanah dasar dan tanah timbunan

Parameter tanah dasar yang digunakan dalam analisis kestabilan timbunan diperoleh dengan cara korelasi data hasil sondir. Jenis parameter tanah yang dicari meliputi: jenis tanah, berat volume tanah jenuh, nilai sudut geser dalam, dan nilai kohesi. Data sondir yang digunakan berasal dari pengujian di KM 48+950. Berdasarkan data pengujian yang ada, lokasi ini memiliki kedalaman tanah lunak paling dalam yaitu sebesar 4,2 m. Hasil pengujian sondir di KM 48+950 dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan gambar tersebut, lapisan tanah lunak dengan $q_c < 1,0 \text{ kg/cm}^2$ berada pada kedalaman 0,2-4,2 m. lapisan tanah medium dengan q_c antara 1,0 sampai 1,5 kg/cm^2 berada pada kedalaman 4,4-8,4 m, dan lapisan tanah kaku berada pada kedalaman 8,8-9,6 m. Hasil pengujian sondir di KM 48+950 kemudian digunakan untuk menentukan jenis dan parameter tanah dasar menggunakan metode korelasi menurut (Robertson & Cabal, 2010). Penyeragaman data parameter tanah juga dilakukan sehingga diperoleh nilai rata-rata parameter tanah di setiap lapisan. Untuk parameter tanah timbunan disesuaikan dengan standar spesifikasi dimana jenis tanah timbunan adalah tanah pilihan dengan nilai berat volume tanah jenuh sebesar $17,2 \text{ kN/m}^3$, sudut geser dalam sebesar 30° , dan nilai kohesi sebesar 0 kPa. Rekapitulasi parameter tanah dari hasil korelasi sondir serta penyeragamannya ditampilkan dalam Tabel 1. Berdasarkan data pada Tabel 1, diketahui bahwa jenis tanah pada titik uji didominasi oleh lempung.



Gambar 1. Grafik hubungan sondir dengan kedalaman

Tabel 1. Rekapitulasi hasil korelasi sondir dan penyeragaman data

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	γ_{sat} (kN/m ³)	ϕ (°)	C kPa
0,0 - 4,2	Tanah dasar jenis Lempung	16,97	39,24	36,66
4,4 - 8,8	Tanah dasar jenis campuran Lanau dan lempung	18,56	40,73	102,12
9,0 - 9,4	Tanah dasar jenis campuran pasir dan lanau	19,3	45,67	473,99

Pembebanan Jalan Rel

Perhitungan pembebanan jalan rel meliputi perhitungan beban lokomotif CC 206, beban rel R54, beban bantalan beton, beban balas, dan beban subbalas. Setiap beban tersebut kemudian dihitung nilainya saat didistribusikan ke permukaan timbunan. Rekapitulasi hasil perhitungan distribusi beban di permukaan timbunan jalan rel ditampilkan dalam Tabel 2. Jumlah total beban yang bekerja pada tanah timbunan tersebut adalah sebesar 9,48 ton/m² atau sama dengan 9,48 kPa. Data jumlah beban yang didistribusikan ke permukaan timbunan tersebut kemudian akan dimasukkan dalam program bantu XSTABL.

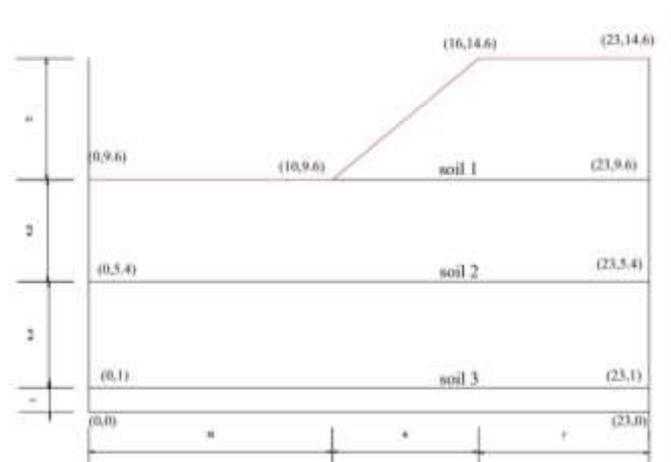
Tabel 2. Besar beban yang bekerja pada tanah timbunan

No	Jenis Beban	Distribusi beban di permukaan timbunan (ton/ m ²)
1	Beban Lokomotif CC 206	7,705
2	Beban Rel	0,019
3	Beban Bantalan Beton	0,055
4	Beban Balas	0,740
5	Beban Subbalas	0,966
Σ Beban		9,48

Jumlah total beban yang bekerja pada tanah timbunan tersebut adalah sebesar 9,48 ton/m² atau sama dengan 9,48 kPa.

Analisis stabilitas longsor dengan XSTABL

Tebal timbunan jalan rel yang paling besar di segmen 48+400 sampai KM 49+500 adalah sebesar 5 m. Sketsa koordinat geometri tanah timbunan dan tanah dasar ditampilkan dalam Gambar 2. Data parameter tanah dalam Tabel 1; data pembebanan dalam Tabel 2, dan data koordinat geometri timbunan dalam Gambar 2 selanjutnya digunakan sebagai data masukan di perangkat lunak XSTABL. Analisis kestabilan timbunan menggunakan metode Bishop Simplified dengan asumsi bahwa bidang gelincir longsor yang terjadi pada tanah lempung berbentuk longsor rotasi. Hasil analisis stabilitas longsor dengan faktor keamanan terkritik ditampilkan dalam Tabel 3.



Gambar 2. Koordinat geometri timbunan KM 48+950

Tabel 3. Rekapitulasi hasil analisis stabilitas timbunan jalan rel

No	Faktor Keamanan	Koordinat Titik Longsor		Jari-jari longsor (m)	Momen tahanan (kN.m)
		x (m)	y (m)		
1	0,774	10,00	21,62	12,14	3,679E+03

Perencanaan kebutuhan geotekstile

1. Berdasarkan (SNI-8460-2017, 2017) nilai faktor keamanan yang disyaratkan untuk desain timbunan/lereng sebesar 1,5. Maka, dibutuhkan nilai momen dorong (M_d) sebagai berikut:

$$M_d = \frac{M_r \text{ min}}{SF \text{ min}} = \frac{3679}{0,77} = 4777,92 \text{ kN.m} \quad (1)$$

2. Perhitungan momen tahanan rencana (M_r rencana)

$$\begin{aligned} M_r \text{ rencana} &= SF \text{ rencana} \times M_d \\ &= 1,5 \times 4777,92 \text{ kN.m} \\ &= 7166,88 \text{ kN.m} \end{aligned} \quad (2)$$

3. Perhitungan nilai tambahan momen penahan (ΔMr)

$$\begin{aligned}\Delta Mr &= Mr \text{ rencana} - Mr \text{ min} \\ &= 7166,88 - 3679 \text{ kN.m} \\ &= 3487,883 \text{ kN.m}\end{aligned}\tag{3}$$

4. Perhitungan kuat tarik ijin geotekstil dan momen tahanan geotekstil

Geotekstil yang direncanakan sebagai perkuatan tanah adalah geotekstil ACETex *geosynthetic* dengan tipe GT-300. Geotekstil ini memiliki kuat tarik memanjang sebesar 300 kN/m, dengan dimensi geotekstil yaitu panjang 300 m dan lebar 4,5 m. Dalam perhitungan kuat tarik ijin dan momen geotekstil dibutuhkan asumsi faktor keamanan berdasarkan kerusakan seperti yang dijelaskan pada Tabel 5. Dengan demikian, nilai kuat tarik ijin geotekstil tipe GT-300 adalah sebagai berikut:

$$T_{\text{allow}} = \frac{T}{SF_{\text{fid}} \times SF_{\text{cr}} \times SF_{\text{cd}} \times SF_{\text{bd}}}\tag{4}$$

$$\begin{aligned}T_{\text{allow}} &= \frac{300}{1,5 \times 2 \times 1,25 \times 1,15} \\ T_{\text{allow}} &= 55,65 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Tabel 5. Faktor keamanan yang direncanakan terhadap kerusakan

Jenis Pemakaian	Timbunan
SF terhadap kerusakan pemasangan (SF _{fid})	1,5
SF terhadap beban rangkai (SF _{cr})	2,5
SF terhadap bahan kimia (SF _{cd})	1,25
SF terhadap aktivitas biologi dalam tanah (SF _{bd})	1,15

Sumber: Siahhan, 2017

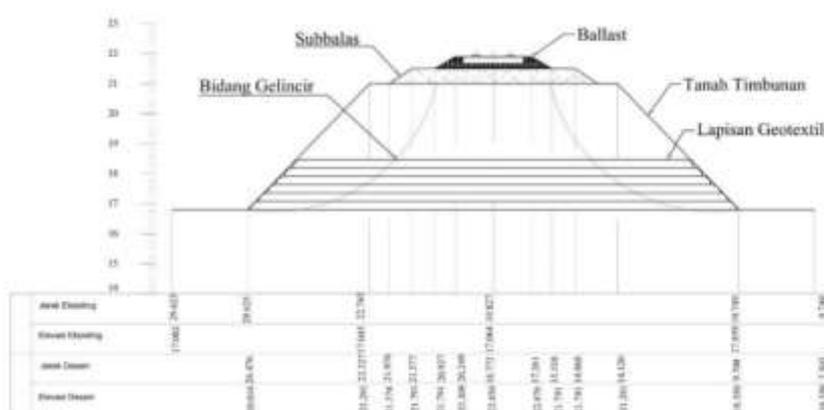
Dalam perhitungan momen tahanan per lapisan geotekstil tipe GT-300 terdapat besar jarak elevasi pusat bidang gelincir dengan kaki lereng (T_i). Momen tahanan per lapisan akan didapatkan dengan mengalikan nilai T_i yang sudah dikurangi jarak elevasi per lapisan yaitu 0,3m sesuai dengan (SNI-8460-2017, 2017) dengan nilai kuat tarik ijin geotekstil (T_{allow}). Rekapitulasi perhitungan momen tahanan per lapisan geotekstil tipe GT-300 dituangkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Rekap Perhitungan Kuat Ijin Geotekstil

Jumlah Lapisan	T_i (m)	T_{allow}	M geotekstil (kN.m)
1	12,02	55,6	668,9391
2	11,72	55,65	652,2435
3	11,42	55,65	635,5478
4	11,12	55,65	618,8522
5	10,82	55,65	602,1565
6	10,52	55,65	585,4609
Total			3763,2

5. Menghitung kebutuhan geotekstil

Dari hasil perhitungan dalam Tabel 6 diketahui bahwa jumlah kebutuhan geotekstil adalah sebanyak 6 lapis. Berdasarkan Tabel 3, diketahui jari-jari bidang gelincir adalah sebesar 12,14 m dengan titik pusat jari-jari longsor berada pada koordinat (10, 21.62) m. Berdasarkan data tersebut, dilakukan penggambaran sketsa penempatan geotekstil agar kebutuhan panjang geotekstil dapat ditentukan. Gambar 3 merupakan gambar lokasi bidang gelincir dan rencana penempatan geotekstil. Berdasarkan sketsa tersebut, maka kebutuhan panjang geotekstil untuk perkuatan timbunan jalan rel terhadap longsor dapat dihitung seperti dalam Tabel 7.



Gambar 3. Sketsa perencanaan geotekstil tipe GT-300

Dari sketsa diatas didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 7. Kebutuhan panjang geotekstil untuk perkuatan timbunan jalan rel KM 48+400 s.d KM 49+500

Lapisan	Panjang Geotekstil			Total (m)
	Panjang depan bidang gelincir (m)	Panjang belakang bidang gelincir (m)	Jarak overlap (m)	
1	1,7	11,29	0,3	13,29
2	2,5	10,25	0,3	13,05
3	2,93	9,53	0,3	12,76
4	3,36	8,93	0,3	12,59
5	3,64	8,42	0,3	12,36
6	3,85	8	0,3	12,15
Σ Total				76,2

Berdasarkan Tabel 7 diketahui bahwa kebutuhan geotekstil yang digunakan yaitu tipe GT-300 dengan kebutuhan panjang sebesar 76,2 m untuk setengah timbunan. Kemudian dihitung kebutuhan untuk tiap roll nya sebagai berikut:

a) Kebutuhan panjang geotekstil satu timbunan, L_1

Kebutuhan panjang untuk setengah timbunan sebesar 76,2 m. Perencanaan kebutuhan geotekstil dihitung per satu timbunan, maka:

$$L_1 = 76,2 \text{ m} \times 2 = 152,4 \text{ m} \quad (5)$$

- b) Kebutuhan rol geotekstil untuk perencanaan pada KM 48+400 s.d KM 49+500
 Pada perhitungan ini dibutuhkan panjang perencanaan perkuatan yaitu 1100 m dari KM 48+400 hingga KM 49+500 dibagi dengan lebar geotekstil sebesar 4,5 m. Kemudian hasil dari perhitungan tersebut dikalikan dengan kebutuhan panjang satu timbunan (L_1) dibagi panjang geotekstil tiap roll nya sebesar 200 m. Perhitungan dapat dilihat pada persamaan (6).

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Panjang perencanaan}}{\text{Lebar geotextile}} \times \frac{L_1}{\text{Panjang geotextile setiap rol}} & (6) \\
 &= \frac{1100 \text{ m}}{4,5 \text{ m}} \times \frac{152,4 \text{ m}}{300 \text{ m}} \\
 &= 124 \text{ rol}
 \end{aligned}$$

Maka, kebutuhan rol geotekstil yang digunakan sebagai perkuatan untuk menahan kelongsoran sebanyak 124 rol.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis dan perhitungan terkait alternatif perkuatan badan jalan terhadap longsor menggunakan geotekstil pada proyek jalur ganda Mojokerto-Sepanjang KM 48+400 hingga KM 49+500 dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil korelasi pada KM 48+950 didapatkan 3 jenis lapisan tanah yaitu lapisan tanah lunak, lapisan tanah campuran lanau dengan lempung, dan lapisan tanah pasir bercampur lanau. Ketiga lapisan tersebut memiliki besar nilai berat volume tanah, sudut geser dalam, dan nilai kohesi yang nantinya digunakan dalam analisis stabilitas timbunan menggunakan perangkat lunak XSTABL.
2. Besar beban konstruksi jalan rel dan beban lokomotif yang bekerja yang pada permukaan tanah timbunan tersebut sebesar 94,5 Kpa.
3. Nilai faktor keamanan minimum yang diperoleh setelah dilakukan analisis dengan perangkat lunak XSATBL sebesar 0,77 dengan besar momen tahanan 3679 kN.m. Bidang gelincir tersebut memiliki radius sebesar 12,14 m dan titik pusat longsor berada pada koordinat (10,21.62)
4. Kebutuhan geotekstil yang dibutuhkan untuk menahan kelongsoran sebesar 124 rol geotekstil dengan tipe geotekstil GT-300 dengan kuat tarik memanjang sebesar 300 kN/m.

DAFTAR PUSTAKA

- ACETex Geosynthetics. 2020. Brosur Geotextile Woven. ACETex Geosynthetics.
Badan Standarisasi Nasional. 2017. Persyaratan Perancangan Geoteknik. In *SNI 8460-2017*.
Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Bishop, A. 1955. The Use of The Slip Circle in The Stability Analysis of Slope.
- Esveld, C. 2001. *Modern Railway Track*. MRT Productions.
- Hardiyatmo, H. 2002. *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hermanto, D. 2016. *Pengujian Sarana Perkeretaapian*. Jakarta: Kencana.
- Robertson, P. dan Cabal, K. 2010. Estimating Soil Unit Weight From CPT.
- Siahan, L. 2017. Alternatif Perbaikan Tanah Dasar dan Perkuatan Timbunan Pada Jalan Tol Palembang-Indralaya (STA 8 + 750 s / d STA 10+750. 361.