

Analisa Stabilitas Lereng Badan Jalan terhadap longsor dengan metode Finite Element (FEM) pada ruas jalan Muara Enim – Lahat – Tebing Tinggi

Norma Puspita *

*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indo Global Mandiri

Email: norma.puspita@uigm.ac.id

ABSTRAK

Longsor pada badan jalan pada wilayah dengan topografi pegunungan disebabkan oleh menurunnya kuat geser tanah akibat adanya rembesan dalam tanah dan peningkatan tegangan tanah yang ditimbulkan oleh meningkatnya beban lalu lintas. Analisa pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar faktor keamanan pada kondisi eksisting dan metode perkuatan lereng yang harus digunakan untuk mencegah terjadinya longsor pada badan jalan di ruas jalan Muara Enim – Lahat. Analisa stabilitas lereng menggunakan metode elemen hingga Plaxis dengan pemodelan keruntuhan Mohr, yang disebut dengan analisa Phi-c reduction. Berdasarkan hasil analisa stabilitas lereng pada kondisi eksisting di 3 lokasi yaitu KM 165+200, KM 190+900, dan KM 197+770 menunjukkan faktor keamanan mendekati kondisi kritis berturut – turut sebesar 1.019, 1.026, dan 1.075. Faktor keamanan tersebut jika terjadi penambahan beban lalu lintas dan rembesan akan menyebabkan kondisi lereng menjadi kritis dan terjadi longsor. Sehingga harus dilakukan perkuatan pada lereng. Hasil analisa stabilitas lereng setelah perkuatan sheet pile dan bored pile menunjukkan bahwa terjadi kenaikan faktor keamanan berturut – turut sebesar 1.332, 1.424, dan 1.231.

Kata Kunci: FEM, Plaxis, Lereng, Jalan,

1. PENDAHULUAN

Ruas jalan yang membentang pada topografi pegunungan dengan kemiringan lereng yang curam memiliki tingkat kerawanan yang sangat tinggi terhadap bahaya longsor. Penyebab kelongsoran pada badan jalan selain akibat kuat geser tanah yang menurun sebagai dampak adanya rembesan dalam tanah dan juga beban lalu lintas yang menyebabkan meningkatnya tegangan dalam tanah. Oleh karena itu pada perencanaannya harus memperhitungkan stabilitas lereng badan jalan dan penanggulangannya terhadap longsor. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui faktor keamanan pada kondisi eksisting dan metode untuk mencegah terjadinya longsor pada badan jalan pada ruas jalan Muara Enim – Lahat, serta besaran faktor keamanan jika diterapkan perkuatan lereng.

Penyebab gerakan tanah dan longsor terdiri dari suatu seri kejadian yang dapat berasal dari alam maupun oleh manusia. Dalam banyak kasus, penyebab tersebut sering tidak dapat dihindarkan. Penyebab yang paling umum adalah unsur geologi, topografi, dan iklim. Jarang sekali penyebab gerakan ini bersifat tunggal, tetapi pada umumnya kombinasi dari beberapa faktor. Semua longsor pada tanah terjadi oleh tegangan geser, oleh sebab itu tinjauan yang dapat dilakukan adalah faktor yang menyebabkan peningkatan tegangan geser dan faktor yang menyebabkan penurunan dari tahanan geser/kuat geser.

2. LONGSOR

Pengertian longsor (landslide) dengan gerakan tanah (mass movement) mempunyai kesamaan. Untuk memberikan definisi longsor perlu penjelasan keduanya. Gerakan tanah ialah perpindahan massa tanah/batu pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan

semula. Gerakan tanah mencakup gerak rayapan dan aliran maupun longsoran. Menurut definisi ini longsoran adalah bagian gerakan tanah. Jika menurut definisi ini perpindahan massa tanah/batu pada arah tegak adalah termasuk gerakan tanah, maka gerakan vertikal yang mengakibatkan bulging (lendutan) akibat keruntuhan fondasi dapat dimasukkan pula dalam jenis gerakan tanah. Gerakan tanah dan longsoran dapat diklasifikasikan berdasarkan mekanisme dan kecepatan pergerakan. Berdasarkan jenis gerakannya, lereng dikelompokkan menjadi runtuh (*Falls*), pengelupasan (*Topples*), aliran tanah (*Earth Flow/Debris Flow*), dan longsoran (*Slides*)

3. STABILITAS LERENG

Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk menentukan faktor keamanan potensial pada bidang longsor. Faktor keamanan (*FS*) adalah nilai yang menyatakan perbandingan gaya yang menahan terhadap gaya yang menggerakkan, dinyatakan dengan persamaan:

$$FS = \frac{\tau}{\tau_d} \quad (1)$$

Dengan : τ = Tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah

τ_d = Tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor

FS = Faktor aman

Menurut Hardiyatmo (2006), faktor keamanan untuk stabilitas lereng sebesar 1.2 – 1.5.

Lereng tak hingga adalah suatu kondisi dimana tanah dengan permukaan miring mempunyai panjang yang lebih besar dibanding dengan kedalamannya. Pada lereng tak hingga, gaya – gaya yang bekerja disetiap sisi bidang dianggap mempunyai besaran yang sama. Faktor keamanan pada lereng tak hingga dipengaruhi oleh rembesan yang menyebabkan tanah dalam kondisi jenuh dan atau jenuh sebagian.

a. Kondisi tanpa rembesan (tanah tak jenuh)

Jika suatu lereng tak hingga dengan ketebalan *H*, maka angka keamanan lereng pada bidang longsor AB (seperti Gambar 2) dapat ditentukan berdasarkan persamaan:

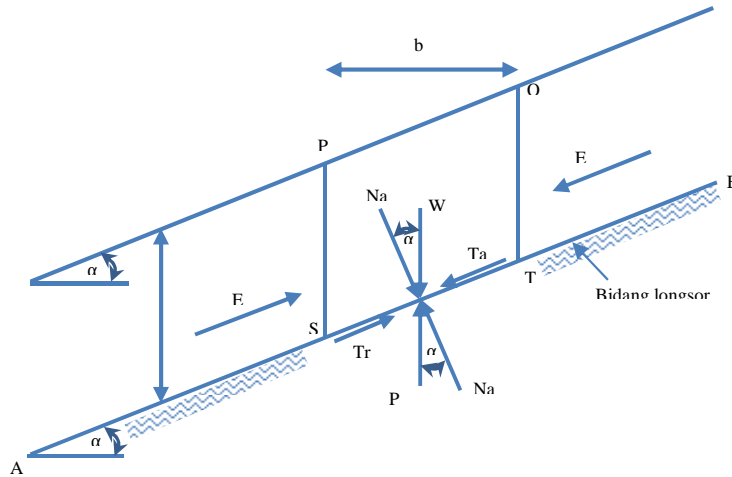
$$FS = \frac{c}{\gamma H \cos^2 \alpha \tan \alpha} + \frac{\tan \varphi}{\tan \alpha} \quad (2)$$

Dengan:

<i>FS</i>	= faktor keamanan,	<i>c</i>	= kohesi tanah (kN/m ²)
φ	= sudut gesek dalam tanah,	α	= sudut kemiringan lereng
γ	= berat isi tanah (kN/m ³)		

Suatu lereng dinyatakan dalam kondisi kritis longsor jika faktor keamanannya sama dengan 1 (satu) dan ketebalan maksimum *H_C*. nilai *H_C* dapat diketahui dengan persamaan:

$$H_C = \frac{c}{\gamma \cos^2 \alpha (\tan \alpha - \tan \varphi)} \quad (3)$$



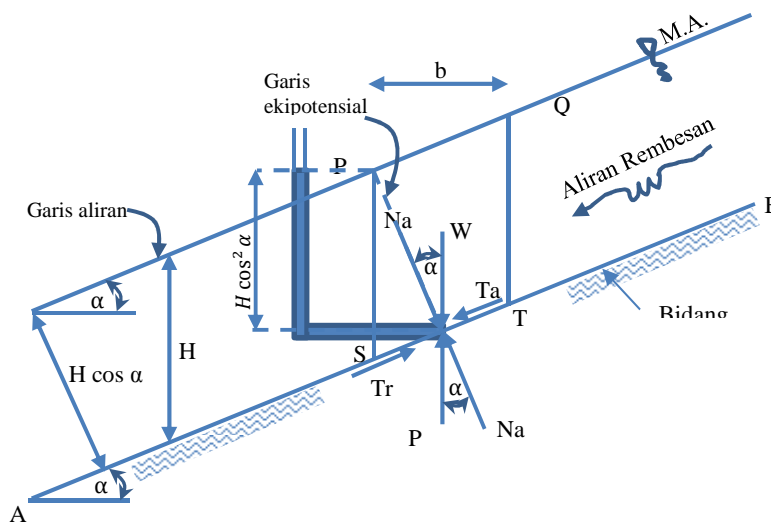
Gambar 1. Lereng Tak Terhingga Tanpa Rembesan (Tanah Tak Jenuh)

- b. Kondisi dengan rembesan penuh (jenuh sempurna)
 Suatu lereng tak hingga dengan kemiringan α serta muka air tanah terletak di permukaan tanah. Pada kondisi ini gaya – gaya yang bekerja pada sisi permukaan bidang diasumsikan saling meniadakan, sehingga faktor keamanan lereng dapat diketahui berdasarkan persamaan:

$$FS = \frac{c}{\gamma_{sat} H \cos^2 \alpha \tan \alpha} + \frac{\gamma' \tan \varphi}{\gamma_{sat} \tan \alpha} \quad (3)$$

Dengan:

- γ' = berat isi efektif tanah (kN/m^3),
- γ_{sat} = berat isi jenuh tanah (kN/m^3)



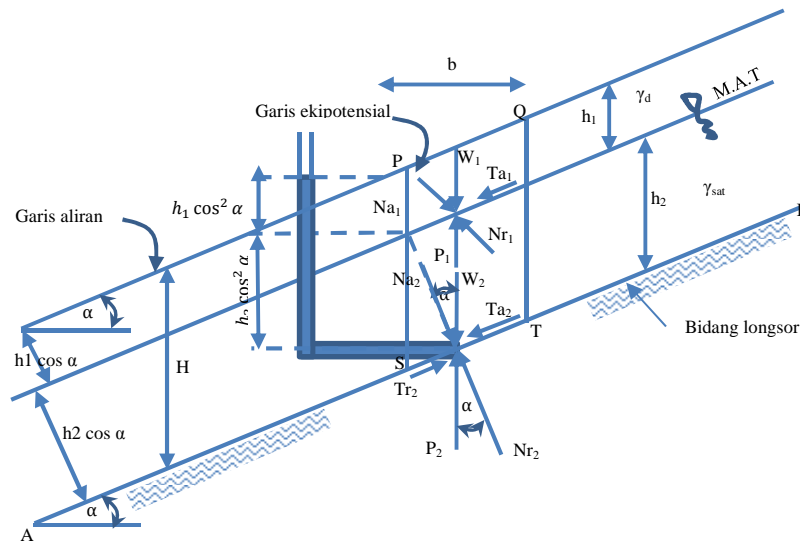
Gambar 2. Lereng Tidak Terhingga dipengaruhi Aliran Rembesan (Tanah Jenuh Sempurna)

- c. Kondisi rembesan sebagian tanah jenuh dan sebagian tanah kering
 Sedangkan pada lereng tak hingga dengan kondisi tanah jenuh sebagian, besar faktor keamanan sangat dipengaruhi oleh berat isi kering dan berat isi jenuh tanah.

$$FS = \frac{c + \{[(\gamma_d h_1 + \gamma' h_2) \cos^2 \alpha] \tan \varphi\}}{(\gamma_d h_1 + \gamma_{sat} h_2) \cos \alpha \sin \alpha} \quad (4)$$

Dengan:

- γ_d = berat isi kering (kN/m^3),
- h_1 = tebal lapisan tanah kering
- h_2 = tebal lapisan tanah jenuh



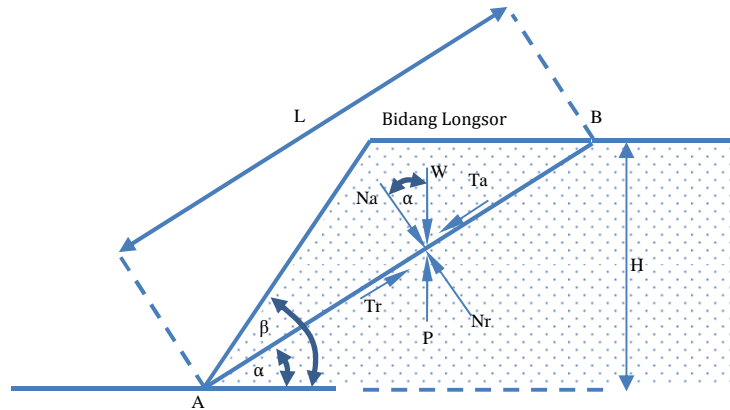
Gambar 3. Lereng Tidak Terhingga Pada Kondisi Jenuh Sebagian

Lereng terbatas (*finite slope*) adalah permukaan tanah miring dengan ketinggian tertentu yang terletak diatas permukaan miring tanah asli, seperti kemiringan/lereng tanah timbunan (*embankments*) dan tanggul tanah (*earth dams*). Faktor keamanan pada lereng terbatas sangat dipengaruhi oleh besarnya gaya geser dan gaya normal yang bekerja pada permukaan miring tanah asli, dengan persamaan sebagai berikut:

$$FS = \frac{L c + N_a \tan \varphi}{T_r} \quad (5)$$

Dengan:

- L = panjang mendatar lereng,
- N_a = gaya normal pada bidang miring tanah asli
- T_r = gaya untuk menahan geser,
- φ = sudut geser



Gambar 4. Lereng terbatas/berhingga (*finite slope*)

4. METODE ELEMEN HINGGA

Menurut Jones (1985) yang menyatakan bahwa pada metode elemen hingga, tanah dimodelkan sebagai kumpulan elemen – elemen yang berlainan menggunakan model elastoplastisitas tegangan dan regangan berdasarkan prinsip mekanika tanah. pada metode elemen hingga tidak menggunakan asumsi bidang longsor. Hal ini disebabkan faktor keamanan didapatkan dengan mencari bidang lemah pada struktur lapisan tanah. Faktor keamanan diketahui dengan cara mengurangi nilai kohesi c dan sudut geser dalam tanah ϕ secara bertahap hingga tanah mengalami keruntuhan.

$$FS = \frac{c}{c_{reduced}} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_{reduced}} \quad (6)$$

Pada kajian ini analisa metode elemen hingga menggunakan program Plaxis dengan pemodelan keruntuhan Mohr, yang disebut dengan analisa *Phi-c reduction*. Untuk tanah berbutir halus, analisa dilakukan dengan anggapan bahwa tanah dalam kondisi *undrained*. Parameter yang digunakan dalam analisa tersebut adalah parameter kuat geser dan parameter kekakuan pada kondisi efektif maupun normal.

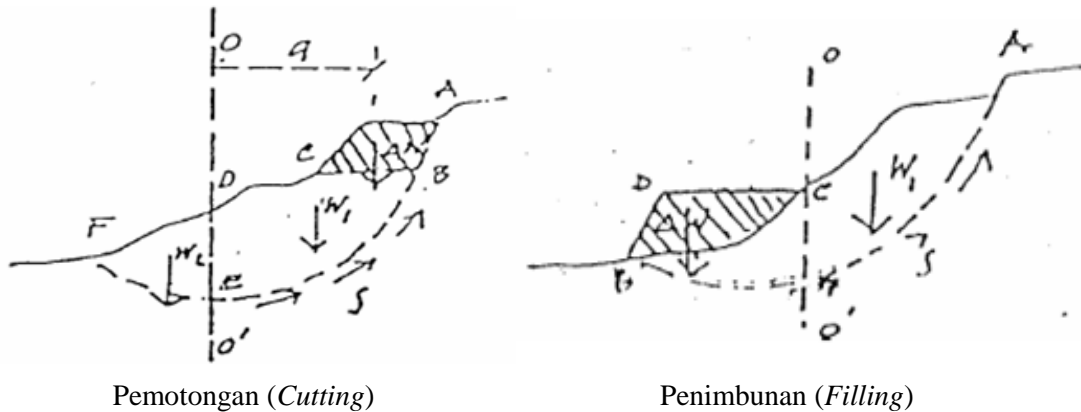
5. PERENCANAAN STRUKTUR PENANGANAN KELONGSORAN

Dalam pemilihan tipe penanganan kelongsoran yang cocok akan terdapat satu atau beberapa alternatif yang penentuannya tergantung dari tipe longsor dan kemudahan pelaksanaannya dilapangan. Aspek-aspek yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan teknis penanggulangan longsor badan jalan seperti geometrik jalan, topografi, geologi, geoteknik, hidrologi dan hidrogeologi, lingkungan, dan ketersediaan bahan/material konstruksi. Cara analisis dari kestabilan lereng memberikan perbandingan dari berbagai alternative. Prosedur dari perencanaan lereng dapat dipisahkan atas 3 buah kategori, yaitu:

- 1) Mengeliminasi masalah, misalnya relokasi lereng, pembuangan atau penggantian material, dan pembuatan jembatan.
- 2) Mereduksi gaya-gaya yang menyebabkan longsor, misalnya mengubah kemiringan lereng, memberikan drainase di permukaan, memberikan sub-drain, dan mengurangi berat.
- 3) Meningkatkan gaya-gaya yang menahan gerakan atau memberikan kestabilan, misalnya memberikan sub-drain, penggunaan beban kontra, konstruksi dinding penahan atau turap, penggunaan pondasi tiang, pemasangan jangkar, pencampuran bahan kimia.

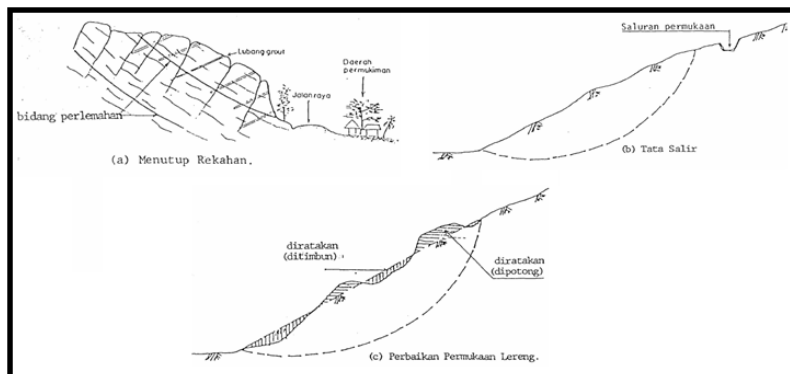
Upaya penanganan kelongsoran juga dapat dibagi menjadi beberapa upaya di bawah ini yaitu:

- a) Dengan merubah geometri lereng, misalnya dengan pemotongan/*cutting* atau penimbunan/*fill*.



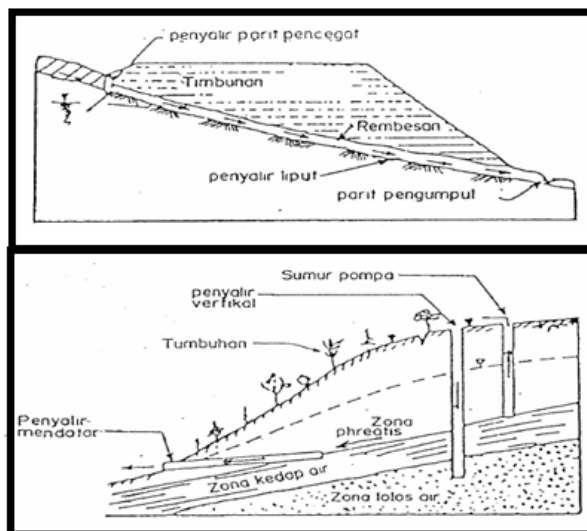
Pemotongan (*Cutting*) Penimbunan (*Filling*)
 Gambar 5. Upaya penanganan kelongsoran dengan mengubah geometri lereng.

- b) Dengan mengendalikan air permukaan



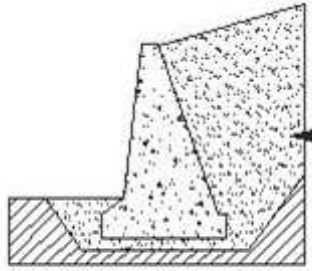
Gambar 6. Upaya penanganan kelongsoran dengan mengendalikan air permukaan.

- c) Dengan mengendalikan air rembesan



Gambar 7. Upaya penanganan kelongsoran dengan mengendalikan air rembesan.

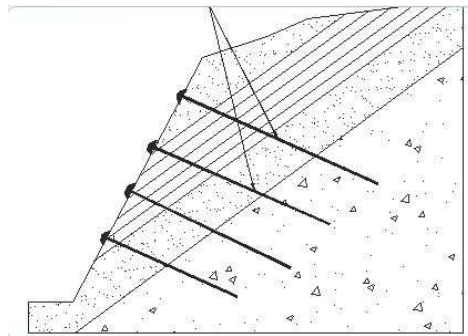
- d) Dengan penambatan longsor tanah, seperti dengan tembok atau dinding penahan, bronjong, tiang, *soil nailing* + *shotcrete*, dan lain-lain.



Tembok/ dinding penahan.

Gambar 8. Upaya penanganan kelongsoran dengan penambatan longsor tanah.

- e) Dengan penambatan longsor batuan, seperti pengikat beton, jangkar kabel, tembok penahan batu, beton semprot, dinding tipis, dan lain-lain.



Jangkar Kabel.

Gambar 9. Upaya penanganan kelongsoran dengan penambatan longsor batuan.

6. HASIL ANALISA

Penelitian dilakukan pada 3 lokasi di ruas jalan Muara Enim - Lahat, yaitu KM 165+200, KM 190+900, dan KM 197+770.

Tabel 1. Lokasi Penelitian

No	Titik Lokasi	Kordinat	Nama Lokasi	Ruas Jalan
1	LS 1 (Km.165+200)	3°35'49.90"LS 103°46'1.10"BT	Dusun Tanjung Raman Sungai Lembang	Sp. Belimbing - Bts. Kota Muara Enim
2	LS 2 (Km. 190+900)	3°41'59.20"LS 103°41'24.60"BT	Dusun Prabu Menang	Batas Kota Lahat – Muara Enim
3	LS 3 (Km. 197+770)	3°44'53.40"LS 103°39'47.40"BT	Dusun Keramasan	Batas Kota Lahat – Muara Enim



Gambar 10. Lokasi Penelitian

Untuk mendukung analisa metode elemen hingga menggunakan Plaxis, maka harus dilakukan penyelidikan tanah guna mendapatkan parameter – parameter tanah yang akan digunakan dalam analisa seperti parameter kuat geser dan karakteristik tanah. berdasarkan hasil penyelidikan tanah diketahui bahwa jenis tanah pada KM 165 + 200 adalah lanau pasiran (*sandy silt/sandy loam*) hingga lanau lempungan pasiran (*sandy loam clay*), sedangkan pada KM 190 + 900 lanau pasiran (*sandy loam*) dan lempung lanau (*silty clay*), pada KM 197 + 770 lanau kepasiran (*sandy loam*). Parameter tanah yang digunakan dalam analisa ini dapat dilihat dalam tabel 2.

Tabel 2. Parameter tanah yang digunakan pada analisa metode elemen hingga Plaxis

Lokasi		KM 165 + 200	KM 190 + 900	KM 197 + 770
Identification		Lanau Lempungan Pasiran	Lempung Lanau	Pasir Gravel
Identification number	Unit	1	2	3
Material model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)
γ_{unsat}	kN/m ³	16	20	17
γ_{sat}	kN/m ³	17	21	18
E	kN/m ²	5.00E+04	5.00E+04	1.50E+04
ν (nu)		0.3	0.3	0.3
c_{ref}	kN/m ²	10	50	20
ϕ (phi)	°	10	30	10
ψ (psi)	°	0	0	0

Analisis stabilitas lereng menggunakan Plaxis untuk kondisi eksisting menunjukkan faktor keamanan untuk ketiga lokasi penelitian berturut – turut sebesar 1.019, 1.026, dan 1.075. Menurut Das (2014), faktor keamanan= 1 maka lereng dalam kondisi kritis longsor. Berdasarkan hal tersebut maka kondisi eksisting lokasi penelitian mendekati kondisi kritis. Dalam hal ini jika terjadi penambahan beban akan menyebabkan kondisi lereng menjadi kritis bahkan terjadi longsor. Oleh karena itu untuk menegah terjadinya bencana longsor pada lokasi tersebut maka perlu adanya perkuatan lereng. Tipe perkuatan lereng selain dipengaruhi oleh karakteristik tanah, juga dipengaruhi oleh kondisi topografi, geologi, dan lingkungan lereng tersebut.

Berdasarkan hasil survei diketahui bahwa lokasi KM 165 + 200 bersebelahan dengan sungai dan longsor terjadi di tikungan sungai, sehingga hal tersebut menyebabkan lereng tergerus dan longsor. Rencana penanganan kelongsoran yang tepat untuk lokasi ini adalah

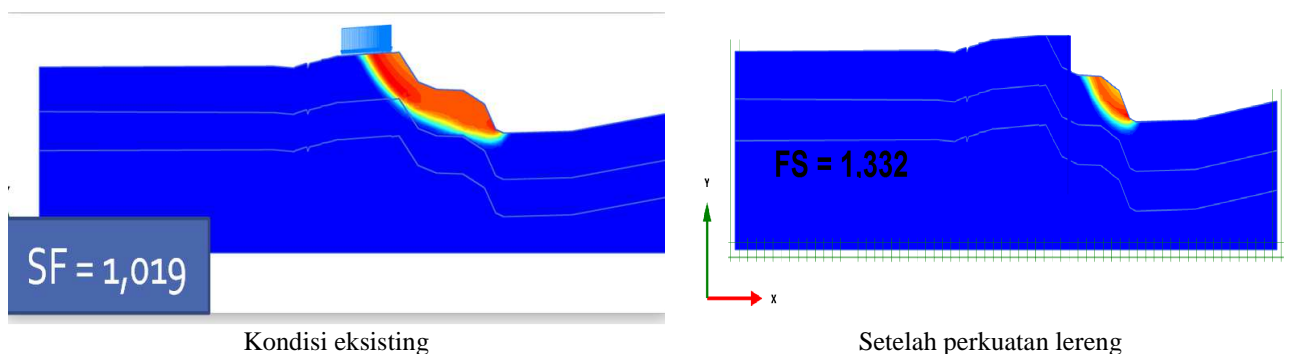
dengan menggunakan *sheetpile*. Sedangkan longsoran pada lokasi KM 190 + 900 dan KM 197+770 akibat adanya rembesan dalam tanah dan juga beban lalu lintas yang menyebabkan meningkatnya tegangan dalam tanah. Rencana penanganan longsoran pada lokasi ini adalah dengan Tiang Bor (*boredpile*)

Untuk mengetahui apakah jenis perkuatan lereng yang diusulkan akan mampu mencegah terjadinya longsor maka dilakukan analisa stabilitas lereng untuk mengetahui besar faktor keamanan setelah perkuatan lereng. Analisis stabilitas lereng untuk kondisi dengan perkuatan menggunakan data parameter tanah hasil *back analysis* yang dilakukan pada kondisi eksisting.

Tabel 3. Parameter Sheetpile dan Tanah Timbunan yang digunakan pada LS 1 – Km. 165+200

Identification Material type	Unit	Sheetpile Elastic	Identification Identification number	Unit	Timbunan 4
EA_1	kN/m	1.20E+07	Material model		Mohr-Coulomb
EA_2	kN/m	1.20E+07	Drainage type		Drained
EI	kN m ² /m	1.20E+05	γ_{unsat}	kN/m ³	17
d	m	0.3464	γ_{sat}	kN/m ³	18
w	kN/m/m	8.3	E	kN/m ²	15000
v (nu)		0.15	v (nu)		0.2
			c_ref	kN/m ²	30
			ϕ (phi)	°	30
			ψ (psi)	°	

Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan *Sheetpile* di bagian lereng menggunakan program PLAXIS untuk lokasi di KM 165+200 memberikan faktor keamanan (*Safety Factor*) sebesar 1.332 (Gambar 8) dengan tambahan tanah timbunan. Dengan melihat kriteria keamanan pada, maka faktor keamanan yang diperoleh masih diatas persyaratan yang diijinkan.



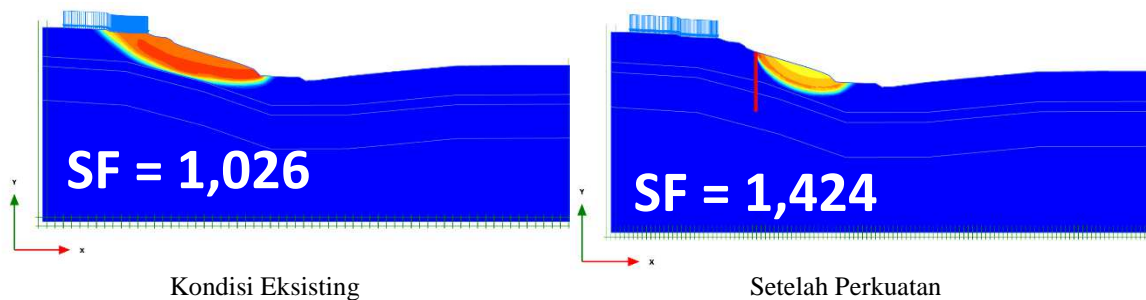
Gambar 8. Analisa Stabilitas Lereng Pada KM 165 + 200

Sedangkan di KM 190 + 900, parameter tanah yang digunakan dalam model geometri ini diperoleh dari hasil pengujian laboratorium dan data korelasi dari penyelidikan tanah di lapangan (SPT) seperti disajikan dalam **Tabel 4**.

Tabel 4 Parameter Tiang Bor, Dinding Penahan Tanah (DPT) dan Tanah Timbunan yang digunakan pada Km. 190+900

Identification number	Unit	bored 1	Identification number	Unit	DPT 5	Timbunan 6
E	kN/m ²	2.63E+07		Unit	Linear elastic	Mohr-Coulomb
γ	kN/m ³	24	Material model			
Pile type		Predefined	Drainage type		Non-porous	Drained
Predefined pile type		Massive circular pile	γ_{unsat}	kN/m ³	24	17
Diameter	m	0.6	γ_{sat}	kN/m ³	24	18
A	m ²	0.2827	E	kN/m ²	2.00E+04	1.50E+04
Skin resistance		Linear	ν (nu)		0.2	0.2
T_top, max	kN/m	100	c_ref	kN/m ²	-	10
T_bot, max	kN/m	150.8	ϕ (phi)	°	-	30

Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan Tiang Bor dibagian lereng menggunakan program PLAXIS untuk lokasi di **KM 190+900** memberikan faktor keamanan (*Safety Factor*) sebesar 1,424 (Gambar 9). Dengan melihat kriteria keamanan, maka faktor keamanan yang diperoleh masih di atas persyaratan yang diijinkan. Penambahan Dinding Penahan Tanah di atas Tiang Bor diberikan untuk pelebaran bahu.



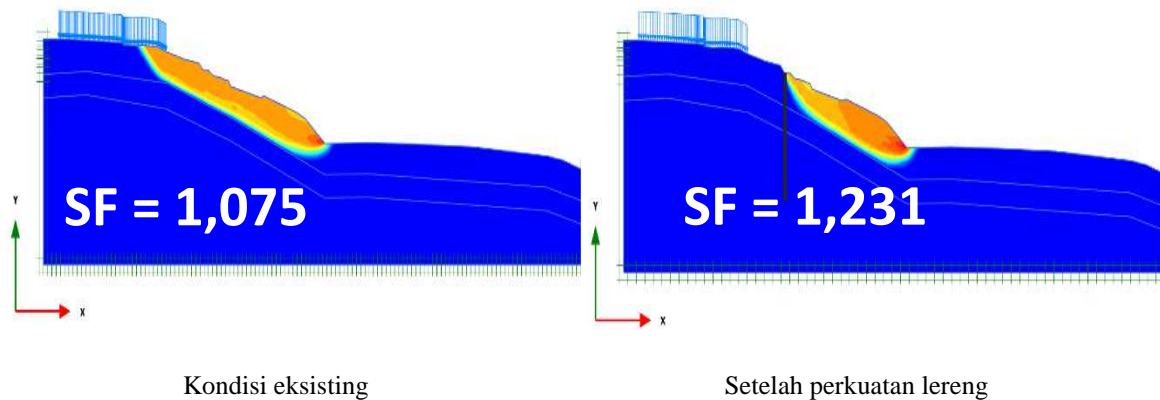
Gambar 9. Analisa Stabilitas Lereng Pada KM 190 + 900

Model geometri untuk lereng yang sudah diperkuat dengan *Boredpile* di KM 197+770 dengan menggunakan parameter disajikan dalam **Tabel 5**.

Tabel 5 Parameter Boredpile yang digunakan pada LS 3 – Km. 197+770

Identification number	Unit	bored 1
E	kN/m ²	2.63E+07
γ	kN/m ³	24
Pile type		Predefined
Predefined pile type		Massive circular pile
Diameter	m	0.6
A	m ²	0.2827
Skin resistance		Linear
T_top, max	kN/m	100
T_bot, max	kN/m	150.8

Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan *Boredpile* di bagian lereng untuk lokasi di KM 197+770 memberikan faktor keamanan (*Safety Factor*) sebesar 1,231 (**Gambar ...**). Dengan melihat kriteria keamanan, maka faktor keamanan yang diperoleh masih diatas persyaratan yang diijinkan.



Gambar 9. Analisa Stabilitas Lereng Pada KM 197 + 770

7. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa stabilitas lereng dengan metode elemen hingga, maka dari penelitian ini dapat disimpulkan, antara lain:

1. Faktor keamanan pada kondisi eksisting menunjukkan bahwa ketiga lokasi penelitian dalam kondisi mendekati kritis, yaitu sebesar 1.019, 1.026, dan 1.075
2. Penentuan jenis perkuatan lereng dipengaruhi kondisi topografi lereng
3. Metode perkuatan lereng dapat meningkatkan keamanan lereng dari terjadinya longsor. Hal ini ditunjukkan oleh meningkatnya besar faktor keamanan lereng setelah dilakukan perkuatan.

DAFTAR PUSTAKA

Das, 2014, Principle of Geotechnical Engineering, Cening.

Gouw, 2012, Analisa Stabilitas Lereng Limit Equilibrium Vs Finite Elemen Method, HATTI – PIT XVI.

Hardiyatmo, C.H., Mekanika Tanah 2, Gajah Mada Press.

Plaxis Manual, Delft University, Netherland.