

Analisis Stabilitas Lereng dalam Penanganan Longsoran di Jalan Tol Cipularang Km. 91+200 dan Km. 92+600 Menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM)

Indra Noer Hamdhan¹, Desti Santi Pratiwi²

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITENAS, Bandung

²Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, ITB-Bandung

Email : indranh@itenas.ac.id

ABSTRAK

Longsoran terjadi di Jalan Tol Cipularang Km. 91+200 dan Km. 92+600. Longsoran terjadi karena adanya pergerakan pada lapisan batu lempung (clay shale), sehingga perlu adanya penanganan longsoran secara tepat dan efektif. Penanganan yang dipilih, yaitu dengan pemasangan perkuatan lereng berupa boredpile dan dinding penahan tanah. Dimensi boredpile yang digunakan yaitu berdiameter 80 cm. Analisis dilakukan dengan menggunakan Program Plaxis 2D yang berbasis metode elemen hingga, dengan memodelkan 2 (dua) kondisi yaitu kondisi eksisting dan kondisi dengan perkuatan. Analisis pada kondisi eksisting dilakukan dengan cara back analysis, sehingga hasil analisis kondisi eksisting sesuai dengan kejadian di lapangan. Analisis dilakukan di 6 (enam) titik untuk Km. 91+200 dan 2 (dua) titik untuk Km. 92+600. Dari hasil analisis didapat bahwa dengan adanya perkuatan pada lereng yang terjadi kelongsoran, nilai faktor keamanan naik hingga 242.2% dari kondisi eksisting.

KataKunci: Longsor, Tol Cipularang, Km. 91+200 dan 92+600, Boredpile, Metode Elemen Hingga, faktor keamanan

ABSTRACT

The landslide are occurred at Cipularang toll road Km. 91+200 and Km. 92+600. The landslide occur because of the movement of clay shale soil layer, it means should be handled with appropriate and effective way. For this case, reinforcement slope using boredpile and gravity wall are choosen. Dimension of the boredpile is 80 cm. The analysis was calculated using Plaxis 2D with finite element method with two different type of calculating model : existing condition (without reinforcement) and with reinforcement condition. Analysis for existing model are done by back analysis method that will gave the real condition from the field. The analysis are done by calculated in 6 (six) point area of slope for Km. 91+200 and 2 (two) point area of slope for Km. 92+600. The safety factor (SF) of the slope will increase up to 214% after reinforcement.

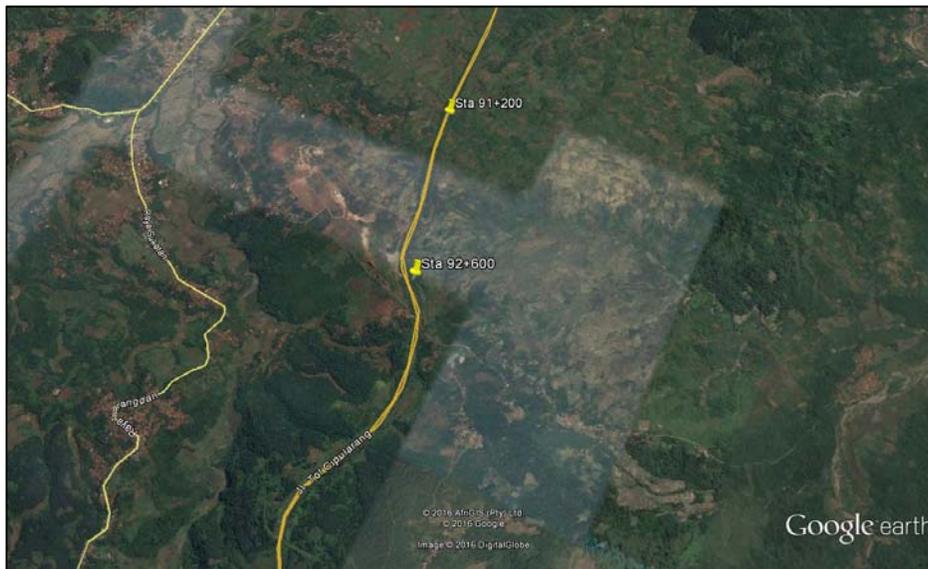
Keywords: Landslide, Cipularang Toll Road, Km. 91+200 and 92+600, Boredpile, Finite Element Method, Safety Factor

1. PENDAHULUAN

Longsoran terjadi di Jalan Tol Cipularang Km. 91+200 dan Km. 92+600. Longsoran terjadi diakibatkan adanya pergerakan tanah pada lapisan batu lempung (*clay shale*). Oleh sebab itu, untuk menangani longsoran tersebut diperlukan adanya suatu penanganan perkuatan lereng permanen dengan tepat, cepat dan efektif. Pada laporan ini, akan menampilkan analisis perencanaan penanganan longsoran dan diharapkan dapat digunakan untuk permasalahan longsoran ini.

Maksud dan Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis stabilitas lereng untuk penanganan longsoran yang terjadi di Ruas Jalan Tol Cipularang Km. 91+200 dan Km. 92+600 menggunakan Program PLAXIS 2D yang berbasis Elemen Hingga, sehingga dapat menghasilkan sebuah perencanaan penanganan longsoran yang efektif dan tepat secara permanen.

Adapun lokasi longsoran yang akan diberikan penanganan disajikan pada **Gambar 1**



Gambar 1 Lokasi longsoran yang akan ditangani.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penyebab Gerakan Tanah dan Longsoran pada Lereng

Lereng merupakan suatu permukaan tanah yang membentuk suatu sudut tertentu terhadap bidang horizontal sehingga menimbulkan sebuah kemiringan. Lereng dibedakan menjadi dua, yaitu lereng alami dan lereng buatan. Lereng yang terbentuk sendirinya akibat kejadian alam atau lingkungan disebut lereng alami, sedangkan lereng yang dibuat oleh manusia yang dapat berupa pemotongan tebing atau pembuatan lereng disebut lereng buatan. [6]

Pergerakan tanah dan longsoran pada lereng dapat disebabkan oleh alam maupun oleh manusia, hal tersebut sulit untuk dihindari. Pergerakan tanah yang diakibatkan oleh alam dapat berupa unsur geologi, iklim dan topografi, sedangkan yang disebabkan oleh manusia yaitu berupa penggalian lereng. [6]

Longsoran dan pergerakan tanah terjadi akibat kekuatan geser (tahanan geser) pada tanah lebih kecil dibandingkan dengan beban (tegangan geser). Adapun faktor yang dapat meningkatkan tegangan geser dan menurunkan kekuatan geser pada lereng, yaitu sebagai berikut [6]:

a) Faktor-faktor yang menyebabkan peningkatan tegangan geser

Semakin tinggi nilai tegangan geser, maka potensi untuk terjadi longsor/ pergerakan tanah akan semakin besar. Peningkatan tegangan geser pada tanah dapat diakibatkan dari hilangnya dukungan arah lateral dan vertikal, seperti erosi sungai, proses pelapukan, penggalian permukaan oleh manusia, dan penambangan. Adapun penyebab meningkatnya tegangan geser dari beban permukaan dan beban lain, seperti pelaksanaan timbunan, terdapat beban bangunan dan konstruksi sipil yang lain, vegetasi, akumulasi talus, air hujan yang merembes ke dalam tanah atau rekahan, dan tekanan rembesan.

b) Faktor-faktor yang menyebabkan penurunan kekuatan geser (tahanan geser)

Faktor-faktor yang dapat menyebabkan penurunan kuat geser dalam tanah, yaitu meningkatnya kadar air, *fissured clay* mengalami pelembekan, dan disintegrasi fisis dari batuan, misalnya pada *clayshale*.

2.2 Teori Keruntuhan Mohr Coulomb

Mohr (1900) memperkenalkan sebuah teori tentang keruntuhan yang dikenal dengan Teori keruntuhan Mohr Coulomb, yang menyatakan bahwa keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser, bukan hanya akibat tegangan normal dan geser dalam kondisi maksimum saja [5]. Persamaan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb yang dapat ditulis menjadi persamaan berikut ini [2]:

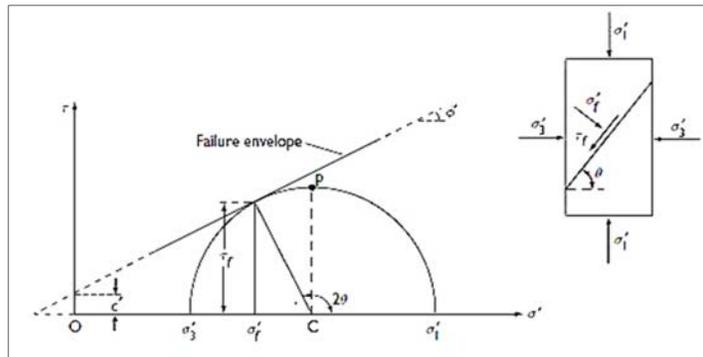
$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

c = kohesi

ϕ = sudut geser dalam

Keruntuhan geser tidak akan terjadi jika tegangan normal dan geser bekerja pada suatu bidang massa tanah, sedangkan keruntuhan geser akan terjadi jika tegangan normal dan geser tepat pada garis keruntuhan. Apabila tegangan normal dan geser berada di atas garis keruntuhan Mohr-Coulomb tidak mungkin terjadi, maka kondisi tersebut keruntuhan gesernya sudah terjadi.



Gambar 2 Keruntuhan Mohr Coulomb [3]

2.3 Pemilihan Tipe Penanganan Longsoran

Pemilihan tipe penanganan longsoran yang dipilih tergantung dari tipe longsoran yang terjadi dan kemudahan pelaksanaannya di lapangan. Adapun beberapa aspek yang perlu diperhatikan dan dipertimbangkan dalam menentukan penanggulangan longsoran, yaitu aspek topografi, aspek geologi, aspek geometri jalan, aspek geoteknik, aspek hidrologi dan hidrogeologi, aspek lingkungan, dan aspek ketersediaan bahan atau material konstruksi.

Berdasarkan prinsip dasar penanggulangan gerakan tanah/ longsoran [4], prosedur dalam perencanaan kestabilan lereng dapat dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:

a) Mengeliminasi masalah, seperti pembuangan/ penggantian material lereng, pembuatan jembatan, atau relokasi lereng

- b) Mereduksi gaya-gaya yang mengakibatkan kelongsoran, seperti memberikan drainase di permukaan dan sub drain, perubahan geometri lereng, dan pengurangan berat beban di area lereng
- c) Meningkatkan gaya-gaya yang menahan kelongsoran atau memberikan kestabilan pada lereng, misalnya konstruksi dinding penahan tanah, pemasangan turap, penggunaan perkuatan lereng seperti turap dan *boredpile*, dan penggunaan bahan kimia.

2.4 Analisis Stabilitas Lereng dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM)

Kelongsoran tanah aktif dapat distabilkan dengan penggunaan pile. Dalam menganalisis besar tekanan tanah yang terjadi pada pile, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan. Salah satu metode yang dapat digunakan yaitu metode berbasis numerik yang dapat digunakan pada kasus-kasus rumit dan dapat menghasilkan hasil yang baik. Adapun beberapa keuntungan dari penggunaan metode numerik untuk analisis stabilitas lereng, yaitu dapat digunakan untuk analisis lereng dengan longsoran yang kompleks, dapat memasukkan kondisi regangan tegangan yang ada pada lereng dalam perhitungan kestabilan lereng, dapat menggunakan berbagai macam kriteria keruntuhan, dan dapat dengan mudah memasukkan efek perkuatan pada lereng.

Metode Elemen Hingga (*Finite-Element Method*) merupakan salah satu metode numerik yang sering digunakan saat ini. Metode ini membuat persamaan matematis dengan berbagai pendekatan dan rangkaian persamaan aljabar yang melibatkan nilai-nilai pada titik-titik diskrit pada bagian yang dievaluasi. Pada metode elemen hingga, daerah yang dianalisis dibagi kedalam beberapa elemen.

Terdapat pendekatan yang umum digunakan dalam menganalisis stabilitas lereng dengan menggunakan metode elemen hingga ini, yaitu metode pengurangan kekuatan geser (*strength reduction method*). Metode ini memiliki prinsip dengan mereduksi/mengurangi kekuatan geser material secara bertahap sampai membentuk suatu mekanisme keruntuhan pada lereng [1]. Adapun nilai parameter kohesi (c) dan sudut geser (φ) yang akan direduksi, yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$c_f = \frac{c}{SRF} \dots\dots\dots(2)$$

$$\phi_f = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\phi}{SRF}\right) \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

SRF = faktor reduksi kekuatan geser

Faktor keamanan (SF) besarnya sama dengan nilai SRF pada saat tepat terjadi keruntuhan

3. ANALISIS DATA

3.1 Pemodelan Lereng

Analisis dilakukan dalam 2 (dua) kondisi, yaitu kondisi eksisting dan kondisi dengan perkuatan lereng. Perkuatan lereng yang digunakan, yaitu kombinasi antara *boredpile* dengan dinding penahan tanah atau *pilecap*. Analisis dilakukan untuk 2 (dua) lokasi, yaitu di Km. 91+200 dan Km. 92+600, dengan pemodelan lereng di 6 (enam) titik untuk Km. 91+200 dan 3 (tiga) titik untuk Km. 92+600. Pemodelan geometri diambil dari gambar desain potongan melintang Km. 91+200 dan Km. 92+600.

3.2 Analisis Stabilitas Lereng di Jalan Tol Cipularang Km. 91+200

Dalam menganalisis stabilitas lereng, hal pertama yang perlu dilakukan yaitu survey pendahuluan untuk mengetahui kondisi eksisting di lapangan. Dari hasil survey pendahuluan didapatkan adanya longsoran yang telah terjadi, dan adanya pembentukkan *crown* di badan jalan. Di lapangan pun ditemukan adanya lapisan batu lempung (*clayshale*), yang dapat menjadi penyebab kelongsoran lereng di lokasi ini. *Clayshale* memiliki sifat kompresibilitas, dimana *clayshale* akan terurai jika terkena air. Adapun dokumentasi hasil survey pendahuluan di tunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Dokumentasi lapangan di Km. 91+200.

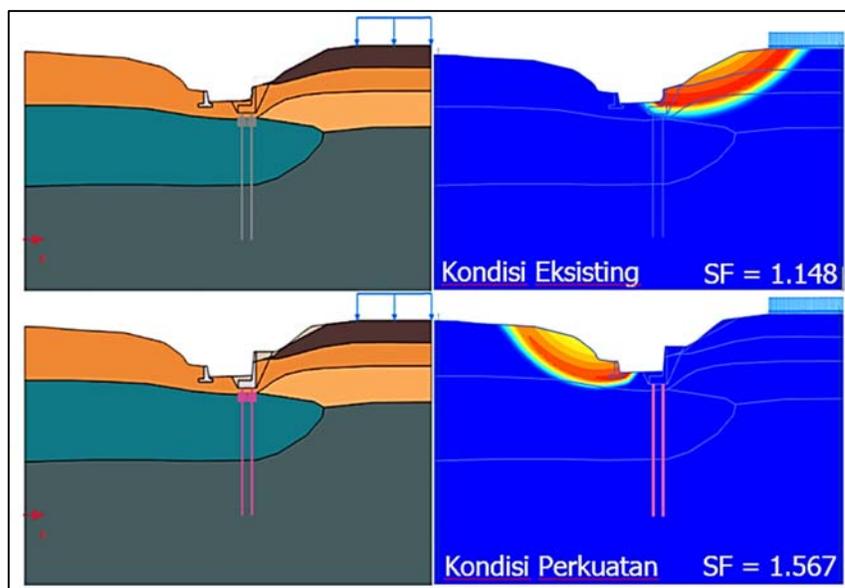
Pemodelan analisis stabilitas lereng di Km. 91+200 dilakukan di 6 (enam) lokasi, yaitu Km. 91+250, Km. 91+256.081, Km. 91+270, Km. 91+300, Km. 91+340, dan Km. 91+400. Dalam pemodelan lokasi ini, parameter yang tanah yang digunakan disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Parameter Tanah yang Digunakan untuk Pemodelan di Km. 91+200

Lapis	Jenis Tanah	Tipe	γ_{unsat} kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	E_{ref} kN/m ²	C_{ref} kN/m	ϕ °
1	Lempung batu gravel	Undrained	23	24	5000	20	13
2	Lempung coklat kemerahan teguh	Undrained	17	18	6720	18	11
3	Lempung tufa pasir halus	Undrained	16	17	6400	18	13
4	Lempung tufa kemerahan	Undrained	19	20	13440	16.2	12
5	Lempung tufa sangat keras	Undrained	23	24	22500	45	15

a) Analisis Kestabilan Lereng di Km. 91+250
 Analisis pemodelan dilakukan dalam 2 (dua) kondisi, yaitu kondisi eksisting dan kondisi perkuatan. Pemodelan analisis stabilitas lereng dilakukan dengan metode elemen hingga (FEM). Pemodelan geometri pada kondisi eksisting dan hasil analisis berupa bidang gelincir disajikan pada **Gambar 4**. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan parameter tanah hasil uji laboratorium dan korelasi data N-SPT sehingga diperoleh faktor keamanan lereng dari hasil analisis kondisi eksisting ini adalah sebesar 1.148.

Analisis Stabilitas Lereng dalam Penanganan Longsor di Jalan Tol Cipularang Km. 91+200 dan Km. 92+600 Menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM)

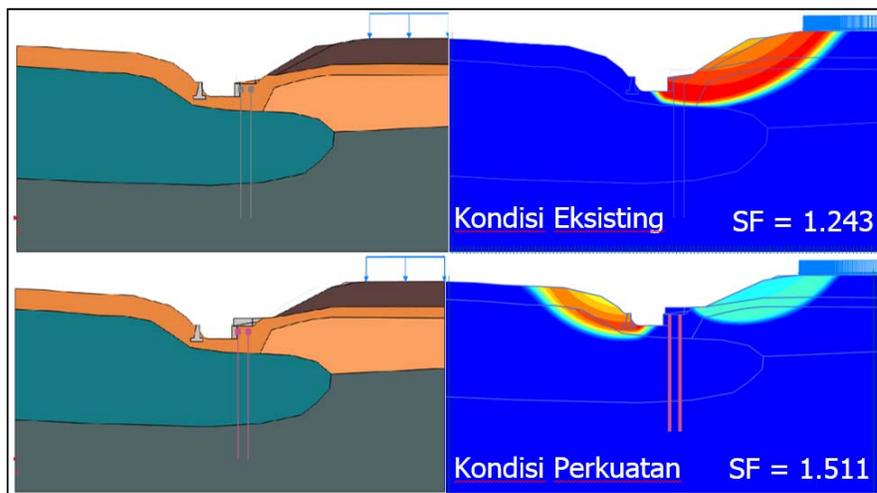


Gambar 4 Hasil analisis kondisi eksisting dan perkuatan di Km. 91+250.

Nilai faktor keamanan yang dihasilkan dari analisis kondisi eksisting kurang dari 1.5, sehingga perlu adanya perkuatan lereng agar menghasilkan nilai faktor keamanan di atas 1.5. Adapun perkuatan lereng yang disarankan yaitu pemasangan dinding penahan tanah dan boredpile yang dipasang 2 (dua) baris/zigzag. *Boredpile* yang direncanakan berdiameter 80 cm dan kedalaman tiang 20 m dengan mutu beton K-350. Hasil analisis pemodelan dengan kondisi perkuatan ditunjukkan pada **Gambar 4** dengan nilai faktor keamanan sebesar 1.567.

b) Analisis Kestabilan Lereng di Km. 91+256.081

Analisis pemodelan dilakukan dalam 2 (dua) kondisi, yaitu kondisi eksisting dan kondisi perkuatan. Pemodelan analisis stabilitas lereng dilakukan dengan metode elemen hingga (FEM). Pemodelan geometri pada kondisi eksisting dan hasil analisis berupa bidang gelincir disajikan pada **Gambar 5**. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan parameter tanah hasil uji laboratorium dan korelasi data N-SPT sehingga diperoleh faktor keamanan lereng dari hasil analisis kondisi eksisting ini adalah sebesar 1.243.

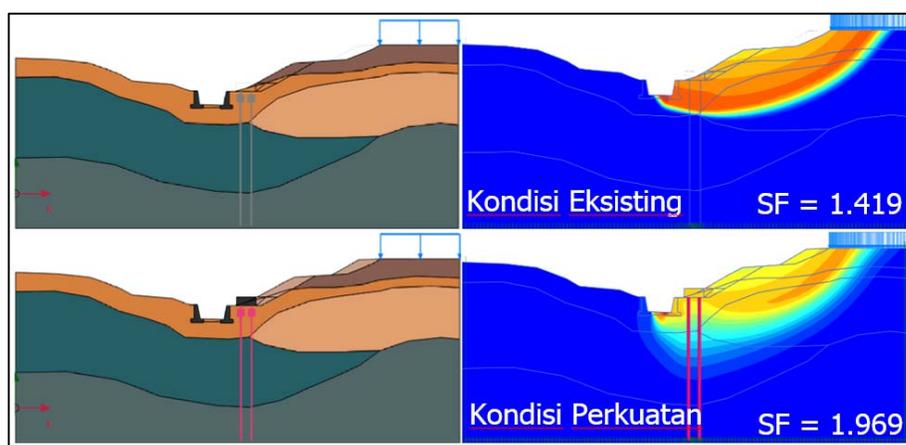


Gambar 5 Hasil analisis kondisi eksisting dan perkuatan di Km. 91+256.081.

Nilai faktor keamanan yang dihasilkan dari analisis kondisi eksisting kurang dari 1.5, sehingga perlu adanya perkuatan lereng agar menghasilkan nilai faktor keamanan di atas 1.5. Adapun perkuatan lereng yang disarankan yaitu pemasangan *pilecap* dan *boredpile* yang dipasang 2 (dua) baris berpola *zigzag*. *Boredpile* yang direncanakan berdiameter 80 cm dan kedalaman tiang 20 m dengan mutu beton K-350. Hasil analisis pemodelan dengan kondisi perkuatan ditunjukkan pada **Gambar 5** dengan nilai faktor keamanan sebesar 1.511.

c) Analisis Kestabilan Lereng di Km. 91+270

Analisis pemodelan dilakukan dalam 2 (dua) kondisi, yaitu kondisi eksisting dan kondisi perkuatan. Pemodelan analisis stabilitas lereng dilakukan dengan metode elemen hingga (FEM). Pemodelan geometri pada kondisi eksisting dan hasil analisis berupa bidang gelincir disajikan pada **Gambar 6**. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan parameter tanah hasil uji laboratorium dan korelasi data N-SPT sehingga diperoleh faktor keamanan lereng dari hasil analisis kondisi eksisting ini adalah sebesar 1.419.



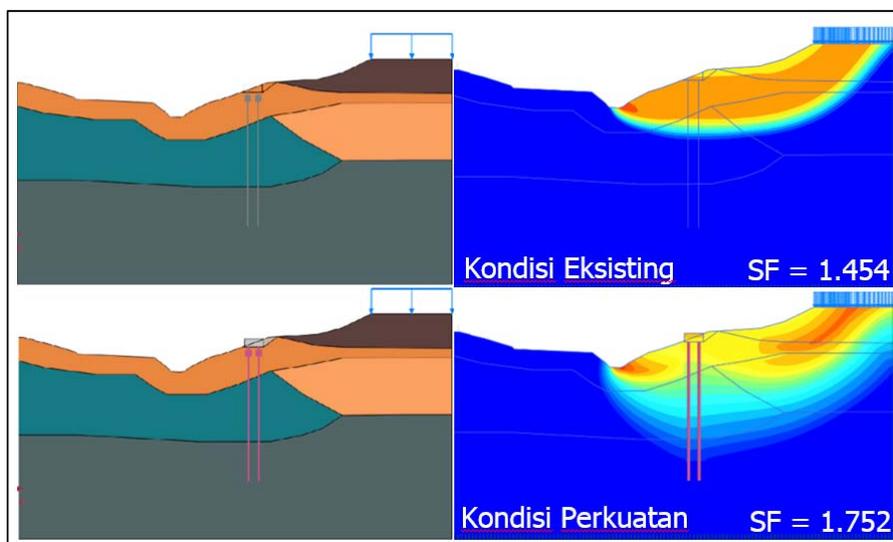
Gambar 6 Hasil analisis kondisi eksisting dan perkuatan di Km. 91+270.

Nilai faktor keamanan yang dihasilkan dari analisis kondisi eksisting kurang dari 1.5, sehingga perlu adanya perkuatan lereng agar menghasilkan nilai faktor keamanan di atas 1.5. Adapun perkuatan lereng yang disarankan yaitu pemasangan *pilecap* dan *boredpile* yang dipasang 2 (dua) baris dengan pola pemasangan *zigzag*. *Boredpile* yang direncanakan berdiameter 80 cm dan kedalaman tiang 20 m dengan mutu beton untuk *boredpile*, yaitu K-350. Hasil analisis pemodelan dengan kondisi perkuatan ditunjukkan pada **Gambar 6** dengan nilai faktor keamanan sebesar 1.969.

d) Analisis Kestabilan Lereng di Km. 91+300

Analisis pemodelan dilakukan dalam 2 (dua) kondisi, yaitu kondisi eksisting dan kondisi perkuatan. Pemodelan analisis stabilitas lereng dilakukan dengan metode elemen hingga (FEM). Pemodelan geometri pada kondisi eksisting dan hasil analisis berupa bidang longsor yang disajikan pada **Gambar 7**. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan parameter tanah hasil uji laboratorium dan korelasi data N-SPT sehingga diperoleh faktor keamanan lereng dari hasil analisis kondisi eksisting ini adalah sebesar 1.454.

Analisis Stabilitas Lereng dalam Penanganan Longsor di Jalan Tol Cipularang Km. 91+200 dan Km. 92+600 Menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM)

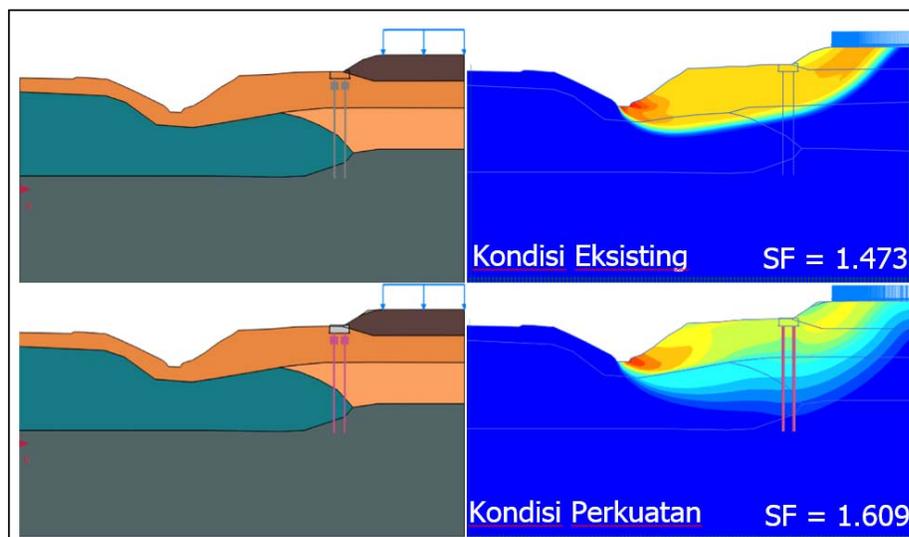


Gambar 7 Hasil analisis kondisi eksisting dan perkuatan di Km. 91+300.

Nilai faktor keamanan yang dihasilkan dari analisis kondisi eksisting kurang dari 1.5, sehingga perlu adanya perkuatan lereng agar menghasilkan nilai faktor keamanan di atas 1.5. Adapun perkuatan lereng yang disarankan yaitu pemasangan boredpile yang dipasang 2 (dua) baris/zigzag. *Boredpile* yang direncanakan berdiameter 80 cm dan kedalaman tiang 20 m dengan mutu beton K-350. Hasil analisis pemodelan dengan kondisi perkuatan ditunjukkan pada **Gambar 7** dengan nilai faktor keamanan sebesar 1.752.

e) Analisis Kestabilan Lereng di Km. 91+340

Analisis pemodelan dilakukan dalam 2 (dua) kondisi, yaitu kondisi eksisting dan kondisi perkuatan. Pemodelan analisis stabilitas lereng dilakukan dengan metode elemen hingga (FEM). Pemodelan geometri pada kondisi eksisting dan hasil analisis berupa bidang gelincir disajikan pada **Gambar 8**. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan parameter tanah hasil uji laboratorium dan korelasi data N-SPT sehingga diperoleh faktor keamanan lereng dari hasil analisis kondisi eksisting ini adalah sebesar 1.473.

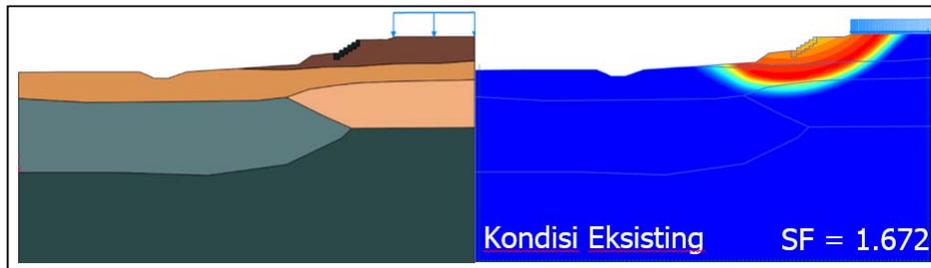


Gambar 8 Hasil analisis kondisi eksisting dan perkuatan di Km. 91+340.

Nilai faktor keamanan yang dihasilkan dari analisis kondisi eksisting kurang dari 1.5, sehingga perlu adanya perkuatan lereng agar menghasilkan nilai faktor keamanan di atas 1.5. Adapun perkuatan lereng yang disarankan yaitu pemasangan *pilecap* dan *boredpile* yang dipasang 2 (dua) baris dengan pola pemasangan *zigzag*. *Boredpile* yang direncanakan berdiameter 80 cm dan kedalaman tiang 15 m dengan mutu beton K-350. Hasil analisis pemodelan dengan kondisi perkuatan ditunjukkan pada **Gambar 8** dengan nilai faktor keamanan sebesar 1.609.

f) Analisis Kestabilan Lereng di Km. 91+400

Analisis pemodelan dilakukan dalam satu kondisi, yaitu kondisi eksisting saja. Pada kondisi eksisting telah terdapat perkuatan bronjong di lapangan, sehingga pemodelan dilakukan untuk mengetahui kondisi eksisting dengan bronjong. Pemodelan analisis stabilitas lereng dilakukan dengan metode elemen hingga (FEM). Pemodelan geometri pada kondisi eksisting dan hasil analisis berupa bidang gelincir disajikan pada **Gambar 9**. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan parameter tanah hasil uji laboratorium dan korelasi data N-SPT sehingga diperoleh faktor keamanan lereng dari hasil analisis kondisi eksisting ini adalah sebesar 1.672. Pemodelan dengan perkuatan tidak dilakukan karena SF eksisting sudah lebih dari 1.5.



Gambar 9 Hasil analisis kondisi eksisting di Km. 91+400.

3.3 Analisis Stabilitas Lereng di Jalan Tol Cipularang Km. 92+600

Sama halnya dengan perencanaan penanganan longsoran di Km. 91+200, survey pendahuluan pun dilakukan di lokasi longsoran Km. 92+600. Dari hasil survey pendahuluan terdapat beberapa penanganan longsoran terdahulu yang telah dilaksanakan, yaitu berupa pemasangan *boredpile*. Selain itu, terdapat *box culvert* di bawah badan jalan yang telah mengalami keretakan. Dokumentasi hasil survey pendahuluan ditunjukkan pada **Gambar 10** di bawah ini.



Gambar 10 Dokumentasi lapangan di Km. 92+600.

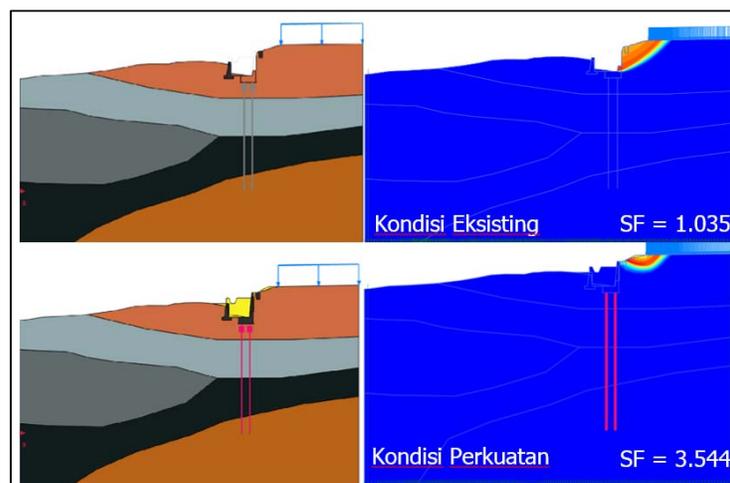
Pemodelan analisis stabilitas lereng di Km. 92+600 dilakukan di 2 (dua) lokasi, yaitu Km. 92+642 dan Km. 92+710. Dalam pemodelan lokasi ini, parameter yang tanah yang digunakan disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Parameter Tanah yang Digunakan untuk Pemodelan di Km. 92+600

Lapis	Jenis Tanah	Tipe	γ_{unsat}	γ_{sat}	E_{ref}	C_{ref}	ϕ
			kN/m ³	kN/m ³	kN/m ²	kN/m	°
1	Lempung coklat sedikit berlanau	Undrained	17.06	18.06	6784	18	9
2	Lempung kepasiran halus	Undrained	18.23	19.23	5824	20	10
3	Pasir lepas hitam	Drained	23	24	45960	10	30
4	Pasir halus abu padat	Drained	23	24	45960	10	46
5	Batu lempung	Undrained	23	24	22500	50	10

a) Analisis Kestabilan Lereng di Km. 92+642

Analisis pemodelan dilakukan dalam 2 (dua) kondisi, yaitu kondisi eksisting dan kondisi perkuatan. Pemodelan analisis stabilitas lereng dilakukan dengan metode elemen hingga (FEM). Pemodelan geometri pada kondisi eksisting dan hasil analisis berupa bidang longsor disajikan pada **Gambar 11**. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan parameter tanah hasil uji laboratorium dan korelasi data N-SPT sehingga diperoleh faktor keamanan lereng dari hasil analisis kondisi eksisting ini adalah sebesar 1.035.



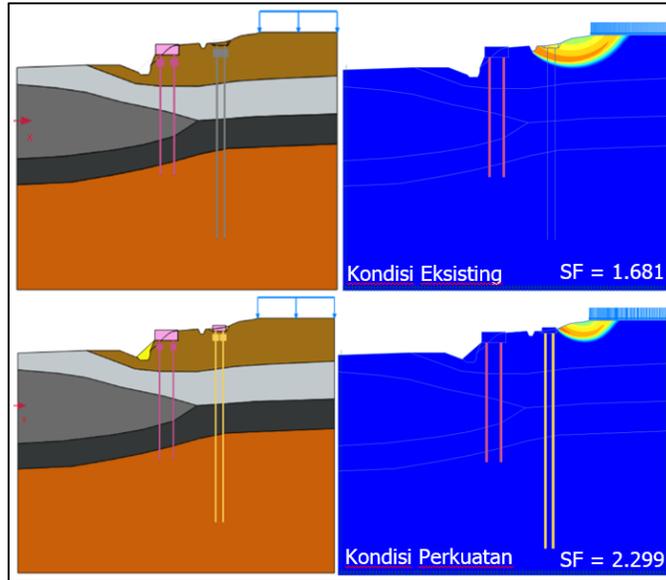
Gambar 11 Hasil analisis kondisi eksisting dan perkuatan di Km. 92+642.

Nilai faktor keamanan yang dihasilkan dari analisis kondisi eksisting kurang dari 1.5, sehingga perlu adanya perkuatan lereng agar menghasilkan nilai faktor keamanan di atas 1.5. Adapun perkuatan lereng yang disarankan yaitu pemasangan dinding penahan tanah dan *boredpile* yang dipasang 2 (dua) baris dengan pola pemasangan zigzag. *Boredpile* yang direncanakan berdiameter 80 cm dan kedalaman tiang 25 m dengan mutu beton K-350. Hasil analisis pemodelan dengan kondisi perkuatan ditunjukkan pada **Gambar 11** dengan nilai faktor keamanan sebesar 3.544.

b) Analisis Kestabilan Lereng di Km. 92+710

Analisis pemodelan dilakukan dalam 2 (dua) kondisi, yaitu kondisi eksisting dan kondisi perkuatan. Pemodelan analisis stabilitas lereng dilakukan dengan metode elemen hingga (FEM). Pemodelan geometri pada kondisi eksisting dan hasil analisis berupa bidang gelincir disajikan pada **Gambar 12**. Pada kondisi eksisting terdapat *boredpile* yang terpasang dengan diameter tiang 1.5 m dan

kedalaman tiang 25 m, sehingga diperoleh faktor keamanan lereng dari hasil analisis kondisi eksisting ini adalah sebesar 1.681.



Gambar 12 Hasil analisis kondisi eksisting dan perkuatan di Km. 92+710.

Nilai faktor keamanan yang dihasilkan dari analisis kondisi eksisting lebih dari 1.5, sehingga dapat dikatakan bahwa lereng tersebut aman. Akan tetapi perlu adanya perkuatan lereng karena kondisi di lapangan terdapat adanya pergerakan tanah. Adapun perkuatan lereng yang disarankan yaitu pemasangan *pilecap* dan *boredpile* yang dipasang 2 (dua) baris berpola *zigzag*. *Boredpile* yang direncanakan berdiameter 80 cm dan kedalaman tiang 40 m dengan mutu beton K-350. Hasil analisis pemodelan dengan kondisi perkuatan ditunjukkan pada **Gambar 13** dengan nilai faktor keamanan sebesar 2.299.

3.4 Hasil Analisis Stabilitas Lereng di Jalan Tol Cipularang

Analisis dengan perkuatan dilakukan pada beberapa cross, baik itu di Km. 91+200 maupun Km. 92+600. Adapun hasil analisis dengan perkuatan boredpile di Km. 91+200 dan Km. 92+600 menunjukkan nilai $SF > 1.5$. Rekapitulasi dari analisis dengan perkuatan disajikan pada **Tabel 3** di bawah ini.

Tabel 3 Rekapitulasi Hasil Analisis Stabilitas Lereng di Jalan Tol Cipularang

No	Km	Titik	SF eksisting	SF perkuatan	Presentase Kenaikan SF
1	91+200	91+250	1.148	1.567	36.5%
2		91+256.081	1.243	1.511	21.56%
3		91+270	1.419	1.969	38.76%
4		91+300	1.454	1.752	20.50%
5		91+340	1.473	1.609	9.23%
6		91+400	1.672	Tidak ada penanganan	
7	92+600	92+642	1.035	3.544	242.4%
9		92+710	1.681	2.299	36.76%

Hasil analisis menunjukkan adanya kenaikan nilai faktor keamanan dari setiap pemodelan. Pada **Tabel 3** ditunjukkan bahwa pada Km. 91+250 presentase kenaikan faktor keamanan setelah adanya perkuatan adalah sebesar 36.5%, pada Km. 91+256.081 sebesar 21.56%, di Km. 92+270 adalah sebesar 38.76%, pada Km. 91+300 sebesar 20.50%, dan Km. 91+340 sebesar 9.23%. Adapun

presentase kenaikan nilai faktor keamanan di Km. 92+600 yaitu sebesar 242.4% dan pada Km. 92+710 sebesar 36.76%.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis pada pemodelan lereng di Jalan Tol Cipularang Km. 91+200 dan Km. 92+600, dapat disimpulkan bahwa kondisi eksisting lereng dominan kurang aman karena diperoleh nilai faktor keamanan kurang dari 1.5. Sehingga dibutuhkannya sebuah penanganan longsoran yang efektif dan tepat serta permanen.

Penanganan longsoran dengan menggunakan dinding penahan tanah dan *boredpile* disarankan dalam masalah ini, karena efektif yang dapat dilihat dari kenaikan nilai faktor keamanan dari kondisi eksisting dan kondisi perkuatan. Adapun presentase kenaikan nilai faktor keamanan terendah pada pemodelan di Km 91+240, yaitu sebesar 9.23%. Sedangkan kenaikan presentase nilai faktor kemanaan terbesar terdapat di pemodelan Km. 92+642, yaitu sebesar 242.4%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Brinkgreve R B J. et al, R. F, (2016) *Reference Manual*, Spon Press, PLAXIS, Netherlands.
- [2] Coulomb, C. A. (1776) *Essai sur une application des regles de Maximums et Minimis a quelques Problemes de Statique, relatifs a l'Architecture, Memoires de Mathematique et de Physique, Presentes, a l'Academie Royale des Sciences*, Paris. Vol.3, 38.
- [3] Craig, R. F, (2004) *Craig's Soil Mechanics, Seventh Edition*, Spon Press, Department of Civil Engineering University of Dundee UK.
- [4] Direktorat Jenderal Bina Marga (PU), (1987) *Buku Petunjuk Teknis Perencanaan dan Penanganan Longsoran*. Yayasan Penerbit PU. Jakarta, Indonesia.
- [5] Mohr, O. (1900). *Welche Umstande Bedingen die Elastizitatzgrenze und den Bruch eines Materiales? Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*. Vol. 44, 1524-1530, 1572-1577.
- [6] Rahardjo, P. P., (2012) *Manual Kestabilan Lereng*, UNPAR.