

ANALISIS STABILITAS LERENG TANAH VULKANIK AKIBAT PEMBEBANAN KOMBINASI

IRA RIZKI NADILA¹, YUKI ACHMAD YAKIN²

1Mahasiswa, Institut Teknologi Nasional Bandung, Bandung

2Dosen, Institut Teknologi Nasional Bandung, Bandung

Email : irarizkinadila@gmail.com

ABSTRAK

Lereng tanah vulkanik di Cianjur rusak akibat gempa November 2022 (5,6 M) dan curah hujan tinggi. Penelitian ini mengevaluasi stabilitas lereng pada kondisi kombinasi hujan dan gempa menggunakan PLAXIS 2D dengan model Mohr-Coulomb dan Hardening Soil. Hasil menunjukkan penurunan signifikan faktor keamanan di bawah batas SNI 8460:2017 ($SF > 1,5$). Model Mohr-Coulomb menghasilkan gelincir dangkal dan penurunan faktor keamanan drastis, sedangkan Hardening Soil menunjukkan keruntuhan progresif dengan deformasi lebih besar dan realistis. Analisis saturasi dan suction menunjukkan hujan meningkatkan saturasi hingga 100% dan menurunkan suction menjadi 0 kN/m², sehingga lereng menjadi kritis. Studi ini menegaskan pentingnya kajian geoteknik untuk menentukan tindakan perkuatan lereng pada wilayah rawan bencana.

Kata Kunci: stabilitas lereng, tanah vulkanik, hujan, gempa, PLAXIS 2D, faktor keamanan

ABSTRACT

Volcanic soil slopes in Cianjur were damaged by the November 2022 earthquake (5.6 M) and heavy rainfall. This study evaluates slope stability under combined rainfall and seismic loading using PLAXIS 2D with Mohr-Coulomb and Hardening Soil models. Results show a significant decrease in the factor of safety below the SNI 8460:2017 limit ($SF > 1.5$). The Mohr-Coulomb model produces shallow slip surfaces with a drastic drop in safety factor, while the Hardening Soil model exhibits progressive failure with larger and more realistic deformations. Saturation and suction analysis indicates that rainfall increases saturation to 100% and reduces suction to 0 kPa, creating critical slope conditions. The study emphasizes the importance of geotechnical assessment to implement slope reinforcement in disaster-prone areas.

Keywords: slope stability, volcanic soil, rainfall, earthquake, PLAXIS 2D, factor of safety.

1. PENDAHULUAN

Lereng vulkanik sangat rentan terhadap kegagalan akibat kombinasi beban alami, seperti curah hujan tinggi dan gempa bumi. Gempa pada November 2022 di Cianjur menyebabkan deformasi dan kerusakan lereng yang signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi stabilitas lereng pada kondisi kritis kombinasi hujan dan gempa, serta membandingkan respons lereng berdasarkan model tanah *Mohr-Coulomb* dan *Hardening Soil*.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini berisi tentang analisis stabilitas lereng tanah vulkanik menggunakan Plaxis 2D akibat pengaruh beban hujan dan gempa. Untuk tahapan perencanaan analisis pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Melakukan identifikasi masalah dan perumusan topik terkait stabilitas lereng tanah vulkanik akibat pengaruh hujan dan gempa.
- Melakukan studi literatur mengenai stabilitas lereng, tanah vulkanik, faktor-faktor penyebab longsor, analisis elemen hingga, dan pemodelan menggunakan PLAXIS 2D.
- Mengumpulkan data topografi, data penyelidikan tanah (SPT), data curah hujan dari BMKG, serta data kegempaan (PGA) dari peta zonasi gempa Indonesia.
- Melakukan pemodelan lereng eksisting menggunakan PLAXIS 2D dengan dua model tanah, yaitu *Mohr-Coulomb* dan *Hardening Soil*, serta menganalisis faktor keamanan pada kondisi pembebanan gempa dan hujan.
- Mengevaluasi hasil faktor keamanan dan deformasi lereng pada setiap kondisi pembebanan, membandingkan perbedaan antara model *Mohr-Coulomb* dan *Hardening Soil*, kemudian menyimpulkan hasil dan memberikan saran berdasarkan analisis tersebut.

3. ISI

3.1 Data Primer

Data primer diperoleh melalui survei lapangan dan pengambilan sampel tanah, meliputi:

- Hasil *Standard Penetration Test* (SPT) untuk menentukan kekuatan tanah dan karakteristik mekanik.
- Pengukuran topografi lereng, termasuk ketinggian, kemiringan, dan profil *cross-section*.

Data primer ini menjadi dasar untuk pemodelan numerik lereng pada PLAXIS 2D, sekaligus sebagai acuan dalam menetapkan kondisi awal tanah sebelum diberlakukan beban hujan dan gempa.

3.2 Data Sekunder

1. Beban gempa

Analisis gempa menggunakan metode *pseudo-static*, sehingga koefisien gempa (a) didapatkan dari hasil perhitungan koefisien seismik (kh).

Koefisien seismik (kh)

$$\begin{aligned} kh &= 0,5 \times PGA \\ &= 0,5 \times (0,4959) \\ &= 0,24795 \end{aligned}$$

Koefisien Gempa (a)

$$\begin{aligned} a &= kh \times F_{PGA} \\ &= 0,24795 \times (1,1) \end{aligned}$$

$$= 0,272745 \text{ g}$$

2. Beban Hujan

Data yang di perlukan untuk melakukan analisis yaitu data curah hujan dan hari presipitasi. Berikut data curah hujan yang di gunakan pada penelitian ini dapat di lihat pada **Tabel 3.1**

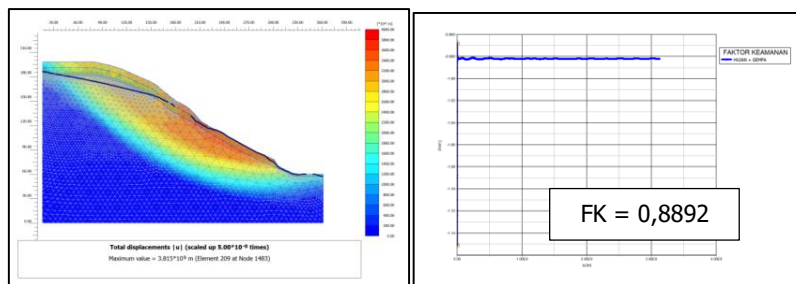
Tabel 3.1 Rekapitulasi Curah Hujan Per Hari

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Ag	Sep	Okt	Nov	Des
Curah Hujan (mm)	282.000	260.8	219.6	187.5	120.4	70.6	53.2	47.2	67.2	121.6	231.6
Hari	22.8	20.3	20.9	18.1	13.5	8.5	6.8	5.8	8	13.8	21.7
Curah Hujan/ Hari (mm/day)	12.368	12.847	10.507	10.359	8.919	8.306	7.824	8.138	8.400	8.812	10.673

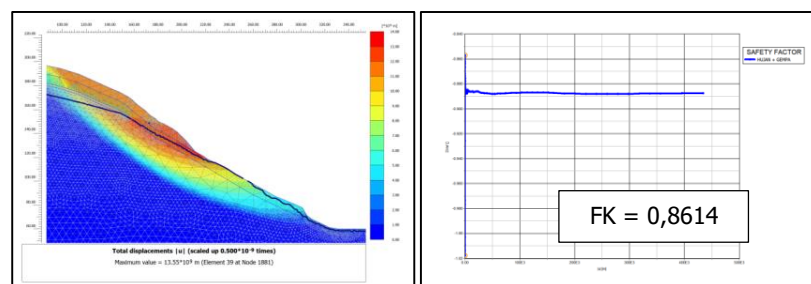
Hasil perhitungan curah hujan harian di kota Cianjur menunjukkan bahwa nilai terbesar ada dibulan Febuari dengan nilai 12.847 mm/hari.

3.3 Hasil Analisis Stabilitas Lereng

Tujuan analisis ini adalah mengetahui stabilitas lereng pada kondisi kritis akibat kombinasi hujan dan gempa. Infiltrasi hujan menurunkan tegangan air pori negatif, menaikkan muka air tanah, serta mengurangi tegangan dan gaya geser efektif tanah. Beban seismik kemudian memperbesar deformasi lereng. Hasil analisis dengan model Mohr-Coulomb dan Hardening Soil ditunjukkan pada **Gambar 3.1** dan **Gambar 3.2**.



Gambar 3.1 Hasil Deformasi dan Grafik Faktor Keamanan Model Tanah *Mohr Coloumb* Pada Kombinasi Kondisi Hujan + Gempa

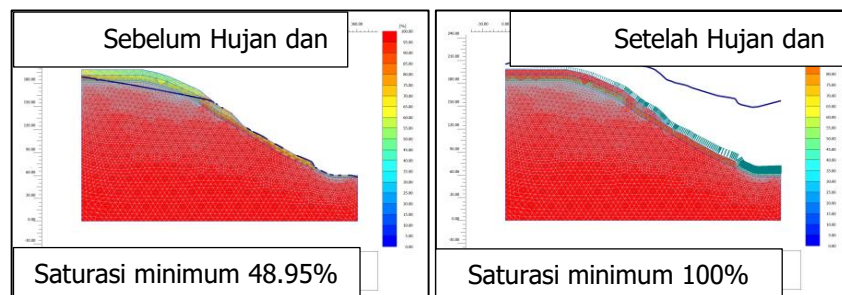


Gambar 3.2 Hasil Deformasi dan Grafik Faktor Keamanan Model Tanah *Hardening Soil* Pada Kombinasi Kondisi Hujan + Gempa

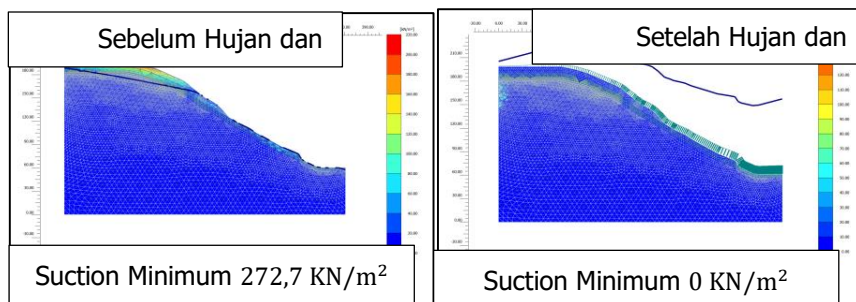
Hasil analisis kombinasi hujan dan gempa menunjukkan perbedaan perilaku lereng pada kedua model tanah. Model *Mohr-Coulomb* menghasilkan bidang gelincir dangkal berbentuk busur, karakteristik keruntuhan rotasi yang tiba-tiba, dengan faktor keamanan relatif tinggi namun menurun drastis mendekati kondisi kritis karena tidak memperhitungkan perubahan kekakuan tanah. Sebaliknya, model *Hardening Soil* menunjukkan gelincir lebih dalam dan luas,

mencerminkan keruntuhan progresif dengan penurunan faktor keamanan yang lebih halus dan realistis akibat degradasi kekakuan dan redistribusi tegangan.

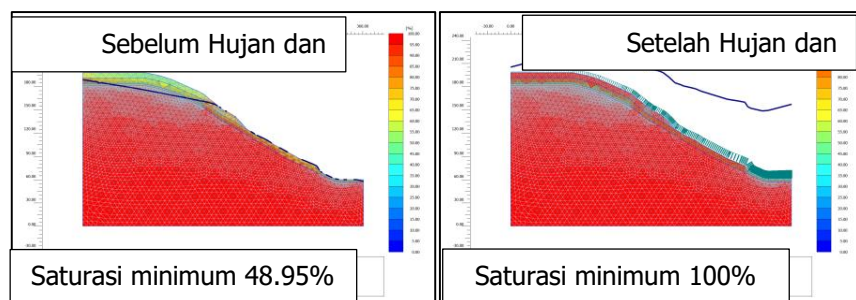
Analisis saturasi dan *suction* menunjukkan hujan dan gempa meningkatkan saturasi hingga 100% dan menurunkan *suction* menjadi 0 kPa, membuat lereng kritis. Secara keseluruhan, lereng pada kombinasi beban hujan dan gempa tidak aman menurut SNI 8460:2017, sehingga tindakan perkuatan diperlukan untuk meningkatkan faktor keamanan, dapat dilihat dari **Gambar 3.3, 3.4, 3.5, 3.6.**



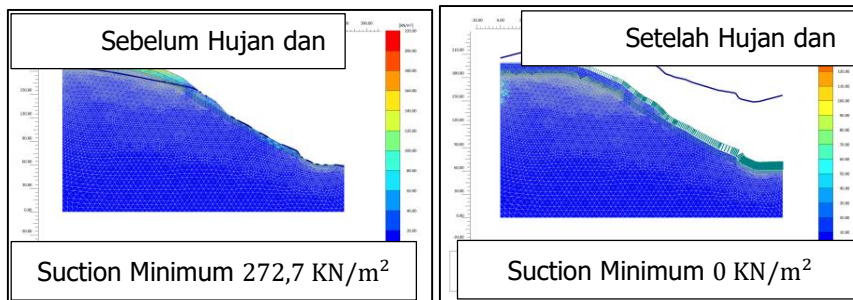
Gambar 3.3 Kondisi Saturasi Lereng Pada Kombinasi Kondisi Sebelum Hujan dan Gempa Serta Kombinasi Kondisi Setelah Hujan dan Gempa Model Tanah *Mohr Coloumb*



Gambar 3.4 *Suction* Pada Kondisi Sebelum Hujan dan Gempa dan Kondisi Setelah Hujan dan Gempa Model Tanah *Mohr Coloumb*



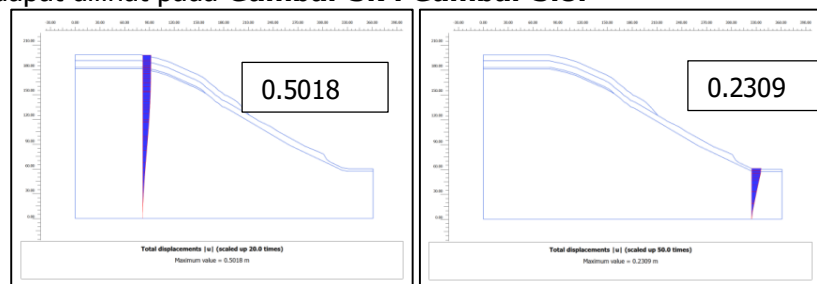
Gambar 3.5 Kondisi Saturasi Lereng Pada Kombinasi Kondisi Sebelum Hujan dan Gempa Serta Kombinasi Kondisi Setelah Hujan dan Gempa Model Tanah *Hardening Soil*



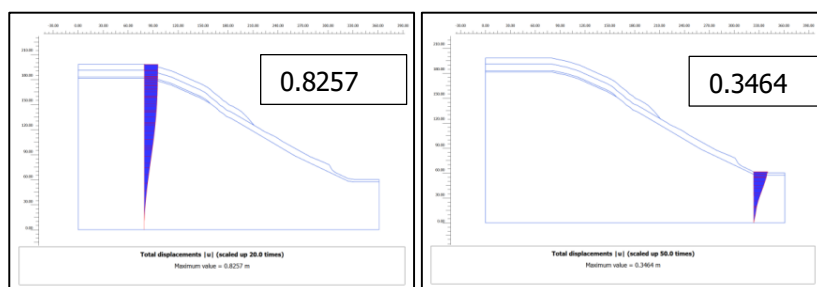
Gambar 3.6 *Suction* Pada Kondisi Sebelum Hujan dan Gempa dan Kondisi Setelah Hujan dan Gempa Model Tanah *Hardening Soil*

Kondisi ini sangat kritis, hujan meningkatkan tekanan air pori dan menurunkan tegangan efektif, sementara gempa memberikan beban dinamis siklik, memicu percepatan horizontal dan gaya inersia. Hujan melemahkan struktur tanah dan menurunkan kekuatan geser, sedangkan gempa menambah beban tiba-tiba, sehingga kombinasi efek menyebabkan deformasi lebih besar dan perubahan bentuk lereng lebih cepat. Untuk menganalisis deformasi, dibuat *cross-section* di hulu dan hilir lereng, kemudian visualisasi deformasi arah resultan dilakukan untuk kedua model, *Mohr-Coulomb* dan *Hardening Soil*.

deformasi arah resultan pada bagian hulu dan hilir lereng model tanah *mohr coulumb* dan *hardening soil* dapat dilihat pada **Gambar 3.7. Gambar 3.8.**



Gambar 3.7 Kondisi Longsor Lereng dan Grafik Penurunan Ultimit Model Tanah *Mohr Coloumb* Pada Kombinasi Kondisi Hujan dan Gempa



Gambar 3.8 Kondisi Longsor Lereng dan Grafik Penurunan Ultimit Model Tanah *Hardening Soil* Pada Kombinasi Kondisi Hujan dan Gempa

Deformasi arah resultan akibat kombinasi hujan dan gempa terbesar terjadi di bagian hulu, yaitu 0,5018 m pada model *Mohr-Coulomb* dan 0,8257 m pada model *Hardening Soil*, sedangkan di

hilir masing-masing 0,2309 m dan 0,3464 m. Perbedaan deformasi ini disebabkan oleh konstitutif masing-masing model. Model *Mohr-Coulomb* merepresentasikan perilaku *elastis-plastis* sederhana dengan modulus tunggal, sehingga tanah terlihat lebih kaku dan tidak menangkap penurunan kekakuan bertahap. Sebaliknya, *Hardening Soil* memperhitungkan kekakuan bergantung tegangan, mekanisme *hardening* dan *softening*, serta akumulasi regangan siklik akibat pembebanan berulang. Hal ini memungkinkan penurunan modulus tanah seiring meningkatnya kejenuhan dan deformasi permanen bertambah secara bertahap, sehingga deformasi pada model *Hardening Soil* lebih besar dan realistis dibanding *Mohr-Coulomb*.

1. KESIMPULAN

Kombinasi beban hujan dan gempa menyebabkan lereng tanah vulkanik menjadi kritis, dengan saturasi meningkat hingga 100% dan *suction* turun menjadi 0 kPa, sehingga faktor keamanan menurun di bawah batas SNI 8460:2017. Model *Mohr-Coulomb* menunjukkan gelincir dangkal dan penurunan faktor keamanan drastis, sedangkan *Hardening Soil* menampilkan keruntuhan progresif dengan deformasi lebih besar dan realistis. Deformasi terbesar terjadi di bagian hulu, dengan *Hardening Soil* menghasilkan nilai lebih tinggi akibat penurunan modulus tanah dan akumulasi regangan siklik. Hasil ini menegaskan pentingnya kajian geoteknik dan tindakan perkuatan lereng untuk meningkatkan faktor keamanan pada wilayah rawan bencana akibat hujan dan gempa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada National Geotechnic Center, Institut Teknologi Nasional Bandung, yang telah memberikan dukungan berupa akses lisensi akademik perangkat lunak PLAXIS sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 – Tata Cara Perencanaan Stabilitas Lereng dan Dinding Penahan Tanah*
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Jakarta: BSN
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (2022). *Data Gempa dan Curah Hujan Wilayah Cianjur*. Jakarta: BMKG.