

PENGARUH CURAH HUJAN, KEMIRINGAN LERENG SERTA BEBAN GEMPA TERHADAP STABILITAS LERENG DENGAN METODE KESETIMBANGAN BATAS

Arif Rahman Hakim Sitepu^{1*}, Agnes Dallis Evalinesuri¹, Julita Hayati¹, Syahidus Syuhada¹, Andry Yuliyanto¹, Elian Zhafira¹, Anggarani Budi Ribowo¹

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera, Jl, Terusan Ryacudu, Desa Way Huwi, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan, 35363

*arif.sitepu@si.itera.ac.id

ABSTRAK

Lereng saat hujan sering mengalami kelongsoran, maka dilakukan penelitian menggunakan metode kesetimbangan batas yaitu metode bishop untuk mencari nilai faktor of safety (FOS) lereng dengan kemiringan lereng 30,45, dan 60. Intensitas hujan yang digunakan yaitu 20 mm/jam, 50 mm/jam, dan 100 mm/jam. Longsor juga disebabkan oleh gempa, pada pemodelan digunakan percepatan gempa sebesar 0,304. Berdasarkan hasil analisis, pengaruh dari curah hujan dan percepatan gempa mengakibatkan nilai FOS menurun. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai FOS tereduksi rata-rata 1,4% terhadap hujan, 18% terhadap kemiringan, dan 37% terhadap gempa. Hal ini menunjukkan bahwa lereng yang tidak stabil akibat dari adanya gaya gravitasi yang mendoorng material terjatuh kebawah serta adanya infiltrasi air hujan dan menambah berat tanah karena kenaikan air pori tanah. Hasil analisis menunjukkan bahwa lereng pada kondisi stabil pada kemiringan 30 karena $FOS > 1,5$ dalam kondisi statik dan $FOS > 1$ dalam kondisi dinamik.

Kata kunci: Lereng; faktor keamanan; kemiringan; curah hujan; gempa

1. PENDAHULUAN

Disarankan menggunakan *template* ini untuk membuat makalah yang akan dimasukkan ke JMTS.

Indonesia memiliki banyak wilayah pegunungan dan perbukitan, sehingga sering terjadi bencana longsor. Di Humbang Hasundutan, wilayahnya didominasi oleh wilayah perbukitan dengan persentase sebesar 69%, sehingga longsor sering terjadi selama musim hujan karena air pori di tanah meningkat, mengurangi kekuatan geser tanah.

Adanya intensitas curah hujan, beban gempa, dan kemiringan lereng adalah beberapa penyebab umum terjadinya longsor. Intensitas curah hujan meningkatkan muka air pori di dalam tanah, yang mengganggu gaya geser tanah dan mengurangi nilai faktor keamanan (FOS) pada tanah. Selain itu, beban eksternal di atas permukaan tanah juga dapat menyebabkan longsor.

Hasil studi penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa intensitas hujan, durasi hujan, kemiringan lereng, dan beban gempa

semuanya terkait dengan peningkatan faktor keamanan lereng. Dengan demikian, lereng akan lebih rentan terhadap longsor jika intensitas hujan, durasi hujan, kemiringan lereng, dan beban gempa semuanya meningkat.

Untuk mencegah kelongsoran lereng, analisis stabilitas lereng diperlukan. Ini karena data tanah dari penyelidikan SPT dan potongan melintang lereng yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari lereng di Kabupaten Humbang Hasundutan dengan kondisi yang cukup kritis. Nilai faktor keamanan (FoS) lereng yang diharapkan dimodelkan harus sesuai atau sebanding dengan kondisi di lapangan di lokasi tersebut. Salah satu cara untuk menganalisis stabilitas tanah pada lereng melalui pemodelan adalah dengan menggunakan metode kesetimbangan batas, yang memudahkan dalam mengevaluasi faktor keamanannya.

Diharapkan dengan menggambarkan desain potongan melintang lereng ke dalam program kesetimbangan batas, pemodelan program dapat disesuaikan dengan kondisi lapangan saat digunakan. Untuk menganalisis stabilitas lereng pada program tersebut, analisis aliran air

langsung digunakan untuk mencari *Factor of Safety* (FoS). Ini dilakukan untuk memudahkan pemodelan dan penambahan intensitas hujan, serta untuk menganalisis stabilitas lereng dengan kondisi statik dan dinamik, serta untuk mengetahui seberapa stabil lereng melalui nilai *Factor of Safety* (FoS) pada lereng tersebut. Program ini akan menggunakan metode kesetimbangan batas, atau metode kesetimbangan batas, dengan tipe analisis yang menggunakan metode bishop dan tanah model Mohr-Coloumb.

Untuk kemiringan lereng pada kondisi statik dan tanpa intensitas hujan, faktor keamanan (FoS) dihitung secara manual menggunakan metode Bishop Simplified. Nilai FoS yang dihitung secara manual kemudian akan dibandingkan dengan hasil berdasarkan pemodelan untuk menentukan keakuratan FoS yang diperoleh dari pemodelan yang telah dilaksanakan. Metode yang digunakan adalah Kesetimbangan Batas yaitu Bishop. Penggunaan metode ini karena beberapa alasan yaitu metode ini tidak sulit untuk dipahami dan diterapkan dibandingkan dengan metode lain. Hasil analisisnya juga dapat digunakan untuk menentukan faktor keamanan lereng (FoS) dan mengevaluasi resiko longsor.

Intensitas Curah Hujan

Longsor dapat terjadi disebabkan oleh hujan terutama dengan durasi lama dan intensitas tinggi. Kondisi hujan dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis berdasarkan intensitas curah hujannya yaitu sebagai berikut:

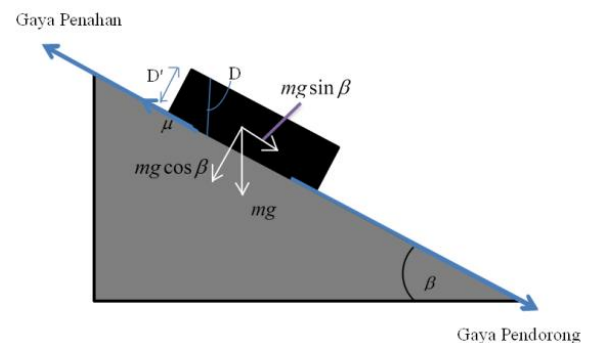
Tabel 1. Parameter perencanaan (Binamarga, 2002)

Keadaan Curah Hujan	Intensitas Curah Hujan (mm)	
	1 Jam	24 Jam
Hujan Sangat Ringan	<1	<5
Hujan Ringan	2-5	5-20
Hujan Normal	5-10	20-50
Hujan Lebat	10-20	50-100
Hujan Sangat Lebat	>20	>100

Intensitas hujan yang akan digunakan dalam penyelidikan ini adalah pada kondisi hujan ringan sebesar 20 mm/jam, hujan normal sebesar 50 mm/jam, dan hujan lebat sebesar 100 mm/jam dengan durasi 6 jam dan akan diamati selama 24 jam.

Kemiringan Lereng

Salah satu faktor yang menyebabkan longsor adalah kemiringan lereng. Karena gravitasi bumi, gaya geser dan pendorong material akan meningkat pada lereng yang curam, mengganggu stabilitas lereng. Berpotensi longsor terjadi di lahan kosong dengan kemiringan di atas 15% dan curah hujan yang cukup tinggi (Andrian, 2014).



Gambar 1. Bidang miring pada longsor berupa elemen geometris dasar (Vallejo dan Ferrer, 2011)

Kemiringan lereng yang digunakan dalam penyelidikan ini adalah dengan variasi 30, 45, dan 60.

Percepatan Gempa

Kelongsoran dapat terjadi jika permukaan lereng mengalami pergerakan horizontal. Getaran bumi dapat meningkatkan gaya pendorong longsor dan menurunkan nilai Factor of Safety (FOS). Nilai FOS berkurang seiring dengan percepatan gempa (Khodijah, 2022). Terlebih dahulu, kelas situs tanah harus disesuaikan dengan percepatan gempa dengan SNI 1726-2019, yang diolah dengan nilai NSPT dan data respon spektrum gempa dari website RSA Ciptakarya.

Gambar 2. Percepatan gempa (RSA Ciptakarya, 2021)

Menurut SNI 8460:2017, lereng dianggap stabil dalam kondisi dinamik apabila nilai FOS minimal lebih besar dari 1 ($FOS > 1$). Sebaliknya, dalam kondisi statik, lereng dianggap stabil apabila nilai FOS minimal lebih besar dari 1,5 ($FOS > 1,5$).

Metode Kesetimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*)

Dalam penelitian ini, metode ini digunakan. metode kesetimbangan batas, yang banyak digunakan dan mudah untuk mengevaluasi kestabilan lereng yang didasarkan pada prinsip kesetimbangan gaya. Metode LEM ini telah dikembangkan selama bertahun-tahun, dan banyak dari mereka masih digunakan dalam analisis stabilitas. Kelebihan metode ini adalah kemudahan penggunaan dan hasil yang cukup baik (Aryal, 2006).

Metode Bishop digunakan untuk kesetimbangan btaas. Metode Bishop mirip dengan Metode Fellenius, tetapi ia juga memperhitungkan gaya-gaya yang ada di antara irisannya. Metode ini mengasumsikan bidang longsor berbentuk busur lingkaran. Untuk menentukan bidang longsor, kita perlu mengetahui geometri lereng, letak rekahan, dan titik pusat busur lingkaran. Metode Bishop yang disederhanakan sangat populer dalam analisis kestabilan lereng karena mudah, cepat, dan menghasilkan faktor keamanan (FoS) yang cukup teliti. Kesalahan metode ini jarang lebih besar dari 5% dibandingkan dengan metode lain, seperti metode kesetimbangan batas umum atau metode Spencer. Ini cocok untuk mencari faktor keamanan (FoS) minimum di bidang runtuh lingkaran yang kritis. Metode Bishop mempertimbangkan komponen gaya horizontal dan vertikal dengan mempertimbangkan

keseimbangan momen masing-masing potongan (Cherianto, 2014).

Dengan mempertimbangkan semua keseimbangan gaya, maka rumus yang digunakan untuk menentukan nilai *Factor of Safety* (FoS) menggunakan Metode Bishop diperoleh sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{\sum Wn \sin \alpha} \sum \left[\frac{c'b + Wn \tan \phi}{\cos \alpha + \frac{\tan \phi \sin \alpha}{FOS}} \right] \quad (1)$$

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk menganalisis pengaruh curah hujan, kemiringan lereng, dan beban gempa terhadap kestabilan lereng adalah sebagai berikut:

- Potongan melintang lereng. Langkah pertama yang dilakukan pada pemodelan ini adalah menentukan bentuk dari potongan melintang lereng yang akan dianalisis.
- Penentuan kondisi analisis. Langkah selanjutnya adalah menentukan kondisi yang akan dianalisis, baik sudut kemiringan lereng yang dianalisis, intensitas curah hujan, dan menggunakan beban gempa atau tidak.

Tabel 2. Kondisi yang akan dianalisis melalui pemodelan

No.	Kemiringan Lereng	Tanpa Hujan	Hujan Ringan (20 mm/jam)	Hujan Normal (50 mm/jam)	Hujan Lebat (100 mm/jam)
1.	30	Statik	Statik	Statik	Statik
2.	30	Dinamik	Dinamik	Dinamik	Dinamik
3.	45	Statik	Statik	Statik	Statik
4.	45	Dinamik	Dinamik	Dinamik	Dinamik
5.	60	Statik	Statik	Statik	Statik
6.	60	Dinamik	Dinamik	Dinamik	Dinamik

Tabel 3. Kondisi yang akan dianalisis melalui perhitungan manual

No.	Kemiringan Lereng	Intensitas Hujan	Faktor Gempa
1.	30	Tidak Ada	Statik
2.	45	Tidak Ada	Statik
3.	60	Tidak Ada	Statik

- Menganalisis stabilitas lereng menggunakan program kesetimbangan batas.
- Menganalisis nilai *Factor of Safety* (FOS) dengan perhitungan manual.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Stabilitas Lereng Akibat Pengaruh Curah Hujan dan Gempa

Berdasarkan hasil pemodelan pengaruh curah hujan terhadap lereng pada kondisi statik, dapat disimpulkan bahwa kemiringan hujan yang lebih besar akan menghasilkan nilai FoS yang lebih rendah, sehingga curah hujan yang lebih besar akan menghasilkan nilai FoS yang lebih rendah. Kesimpulannya, curah hujan nilainya akan berbanding terbalik dengan nilai FoS. Nilai FoS untuk kondisi tanpa hujan hingga hujan lebat adalah 1,909–1,848 pada lereng tanpa beban 30°. Nilai FoS untuk lereng 45° adalah 1,436–1,370, dan untuk lereng 60° adalah 1,168–1,110. Nilai FoS lebih kecil pada kondisi dinamik dibandingkan dengan kondisi statik, menunjukkan bahwa percepatan gempa dapat memengaruhi stabilitas lereng. Nilai FoS pada lereng dinamis dengan kemiringan 30° tanpa beban di permukaannya adalah 1,041–1,010 saat tidak ada hujan. Nilai FoS pada lereng 45° adalah 0,924–0,880, dan pada lereng 60° adalah 0,791–0,751. Hal ini disebabkan oleh gaya dorong tanah yang lebih besar seiring dengan curam lereng dan gaya gravitasi, yang menyebabkan tanah cenderung tergelincir ke bawah. Hujan juga menambah berat tanah yang membentuk lereng dan mengurangi kuat geser tanah. Sebuah gempa dengan kecepatan 0,304535g di lokasi tersebut akan menyebabkan lereng sangat beresiko mengalami kelongsoran, sehingga beban gempa sangat dipengaruhi oleh kecepatan gempanya. Dengan kata lain, pengaruhnya akan lebih kecil jika percepatan gempanya lebih rendah dan sebaliknya. Hasil pemodelan menunjukkan penurunan infiltrasi curah hujan rata-rata sebesar 1,4% pada kondisi statik. Dalam pemodelan, percepatan gempa sebesar 0,304535g mengurangi FoS pada lereng dengan kemiringan 30° sebesar 45%, lereng dengan kemiringan 45° sebesar 36%, dan lereng dengan kemiringan 60° sebesar 32%. Hasil menunjukkan bahwa penurunan FoS rata-rata adalah 37%, dan penurunan ini akan lebih besar pada lereng yang lebih landai, terutama pada saat curah hujan paling tinggi. Kondisi ini disebabkan oleh lereng yang landai, yang memiliki jumlah area yang akan runtuh yang lebih besar daripada lereng yang curam.

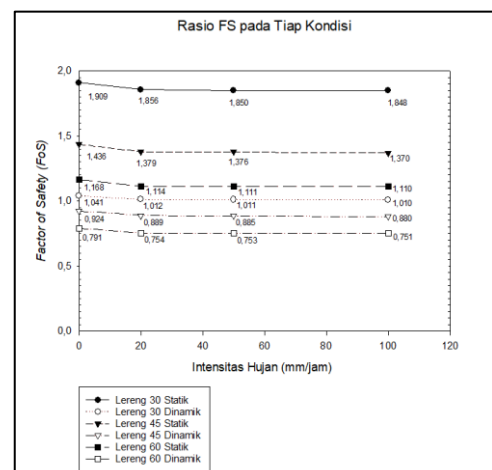
Perhitungan Manual Stabilitas Lereng dan Pengaruh Kemiringan Lereng

Menurut hasil perhitungan, baik metode Bishop Simplified untuk perhitungan manual maupun metode Limit Equilibrium Method (Bishop pada kondisi statik dan tanpa hujan) memiliki kesimpulan yang sama yaitu semakin besar sudut kemiringan lereng, semakin kecil nilai FoS.

Selain itu, nilai FoS yang diperoleh akan lebih rendah untuk individu yang mengalami beban. Nilai FoS sesuai dengan hasil pemodelan, menurut hasil perhitungan manual. Nilai FoS untuk lereng yang tidak memiliki beban di atas permukaan tanah adalah 1,909, pada lereng 30° sedangkan 1,436 pada lereng 45° dan 1,168 pada lereng 60°. Sebaliknya, untuk lereng dengan beban di atas permukaan tanah, nilai FoS adalah 1,870 pada lereng 30°, pada lereng 45° sebesar 1,402, dan pada lereng 60° sebesar 1,137. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil yang diperoleh dan yang diperoleh sama, karena hasil pemodelan menunjukkan penurunan kemiringan lereng rata-rata sebesar 18%.

Rasio Stabilitas Lereng Akibat Pengaruh Variasi Beban

Dengan menggunakan metode kesetimbangan batas, bishop, hasil pemodelan menunjukkan nilai *Factor of Safety* (FoS) yang berbeda untuk berbagai kondisi pada masing-masing lereng dengan kemiringan yang berbeda. Untuk melihat perbedaan pengaruh, nilai *Factor of Safety* (FoS) tersebut dimasukkan ke dalam grafik. Grafik berikut menunjukkan nilai *Factor of Safety* (FoS) akibat intensitas hujan dan gempa pada ketiga lereng dalam kondisi tanpa beban tambahan.



Gambar 3. Grafik rasio pada tiap kondisi lereng tanpa beban

Dengan kondisi tanpa beban di atas permukaan tanah, ketiga lereng menunjukkan nilai Factor of Safety (FoS) yang berbanding terbalik dengan curah hujan; jika curah hujan tinggi, maka nilai FoS akan turun, sebaliknya. Lereng dengan kemiringan paling curam, 60°, memiliki nilai FoS paling tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa kelongsoran pada lereng dapat terjadi apabila curah hujan dan percepatan gempa tinggi terpengaruh.

Nilai Factor of Safety (FoS) yang tidak memenuhi persyaratan untuk kondisi statik ($FOS < 1,5$) dan dinamik ($FOS < 1,0$) berada pada lereng dengan kemiringan 45° dan 60° pada gambar 1. Ini menunjukkan bahwa nilai Factor of Safety (FoS) menunjukkan kondisi stabil pada kemiringan 30°.

Menurut penelitian, pada kondisi di mana tidak ada beban tambahan di atas permukaan tanah, nilai FOS direduksi rata-rata 1,4% terhadap hujan, rata-rata 18% terhadap kemiringan, dan rata-rata 37% terhadap gempa dinamik. Dengan demikian, geometri lereng, atau massa area yang akan runtuh lebih besar pada lereng, memberikan efek yang paling signifikan pada rasio ketiga lereng.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis menunjukkan stabilitas lereng dalam kondisi tidak stabil terutama pada kemiringan 45 dan 60. Nilai *factor of safety* yang diperoleh pada kemiringan tersebut dibawah 1,5 pada kondisi statik dan dibawah 1,0 pada kondisi dinamik. Hal tersebut disebabkan karena adanya pengaruh intensitas hujan yang menyebabkan kenaikan tekanan air pori tanah dan adanya gaya gravitasi yang menyebabkan gaya dorong pada tanah lebih besar dari gaya penahannya. Sehingga lereng dalam keadaan tidak stabil dan beresiko terjadi kelongsoran.

Presentase reduksi akibat pengaruh stabilitas lereng menunjukkan pengaruh terhadap kemiringan lereng sebesar 18%, pengaruh curah hujan sebesar 1,4%, pengaruh penambahan beban eksternal sebesar 1,9%, dan pengaruh gempa sebesar 37%..

DAFTAR PUSTAKA

- Andrian, S. d. (2014). Pengaruh Ketinggian Tempat dan Kemiringan Lereng Terhadap Produksi Karet (*Hevea Brasiliensis* Muell.Arg) di Kebun Hapesong PTPN III Tapanuli Selatan. *E-Journal Agroekoteknologi* 2(3), 981-989.
- Aryal, K. P. (2006). Slope Stability Evaluations by Limit Equilibrium and Finite Element Methods.
- Cherianto, O. (2014). Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawasan Citraland STA 1000 m). *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 2, No. 3, (139-147) ISSN: 2337-6732.
- Hoesain, I. d. (2022). Pengaruh Hujan Terhadap Stabilitas Lereng dengan Retakan. *Spektrum Sipil*, ISSN 1858-4896, e-ISSN 2581-2505 Vol. 9, No. 2: 97-110.
- Khodijah, S. d. (2022). Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas Dalam Kondisi Statis dan Dinamis Pada PIT X, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Padjadjaran Geoscience Journal* Vol 6, ISSN: 2597-4033, 1030-1037.