

DOI: doi.org/10.21009/0305020410

KARAKTERISASI LERENG BERPOTENSI LONGSOR SERTA UPAYA MITIGASI BENCANANYA: STUDI KASUS DI BADAN JALAN LEMBANG DAN CIJAMBE-SUBANG

Aditya Angga^{1,a*)}, Selly Feranie^{2,b)}, Adrin Tohari^{3,c)}, Foureier D.E. Latief^{4,d)}

^{1,2} Departemen Fisika FPMIPA, Universitas Pendidikan Indonesia UPI
Jl. Dr. Setiabudhi No. 229, Bandung dan 40154

³ Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Komplek LIPI Jl. Sangkuriang, Bandung

Email: ^{a)}aditya.angga@student.upi.edu, ^{b)}sferanie@yahoo.com, ^{c)}adrin.tohari@gmail.com, ^{d)}fourier@fi.itb.ac.id

Abstrak

Tanah longsor merupakan salah satu peristiwa yang sering terjadi di Indonesia dan sering menjadi bencana khususnya di daerah Kabupaten Bandung barat dan Subang. Tanah longsor terdiri dari dua bagian utama yaitu tanah bidang gelincir dan tanah bahan longsor. Salah satu cara untuk mengkarakterisasi sifat tanah adalah dengan menggunakan metode geoteknik. Lima lereng yang berpotensi longsor di Desa Cirangkong, Kecamatan Cijambe (cjb1, cjb2, cjb3), Kabupaten Subang (sbg), dan Lembang (lbg), Jawa Barat dikarakterisasi menggunakan metode geoteknik untuk mengidentifikasi besaran fisik tanah bidang gelincir dan tanah bahan longsor. Hasil karakterisasi sifat fisik tanah seperti kohesi, sudut geser, berat isi dan geometri lereng dianalisis kestabilan lerengnya yang digunakan untuk memprediksi jangkauan pusat massa tanah (*run out*) dan kecepatan tanah dengan menerapkan metoda *Coulomb* sederhana. Jangkauan pusat massa tanah dan kecepatan tanah untuk masing-masing lereng cjb1, cjb2, cjb3, lbg secara berurutan adalah 1,22 m dan 6,78 m/s, 0,97 m dan 5,76 m/s, 0,48 m dan 3,45 m/s, 1,07 m/s dan 4,83 m/s, 1,57 m dan 5,93 m/s. jika longsor terjadi, maka tanahahan longsor akan menutupi jalan. Dari hasil karakterisasi tersebut diturunkan upaya mitigasinya ditinjau dari penambahan nilai Faktor Keselamatan lereng ($FK > 1.25$).

Kata Kunci: Karakterisasi stabilitas lereng, *run-out*, mitigasi.

Abstract

Landslide is one of often phenomenon which consist in Indonesia and specially for region West Bandung District and Subang. Landslide has divided into two main part that are landslide slip and landslide soil erosion. One of some methods for characteization of soil properties are geotechnical method. Five slopes which potentially slope in Cirangkong Village, Cijambe Subdistrict (cjb1, cjb2, cjb3), Subang District (sbg), and Lembang (lbg), West Java have characterized by used geotechnical method for identifies soil magnitude of slip area and soil erosion substance. The result of physiscal properties characterization e.g cohesion, displacement angle, unit weight and geometry of potential valanche slope have resulted from analysis slope stability used for predicting soil range (*run-out*) and soil velocity according to use simple *Coulomb* method. *Run-out* predicting result and soil center of mass velocity from five slopes there are cjb1, cjb2, cjb3, lbg and sbg respectively are 1,22 m and 6,78 m/s, 0,97 m and 5,76 m/s, 0,48 m and 3,45 m/s, 1,07 m/s and 4,83 m/s, 1,57 m and 5,93 m/s. If landslide happen, soil erosion will be cover the way. From that characterization, derivated the efforts mitigation which observe from increasing slope safety factor ($FK > 1.25$)

Keyword: *slope stability characterization, run-out, mitigation*

1. Pendahuluan

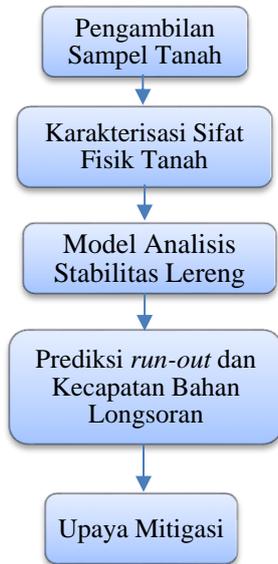
Tanah longsor adalah gerakan massa tanah (termasuk batuan), lapisan hasil sedimen yang belum terkonsolidasi atau lapisan tanah pada bagian lereng dengan kemiringan landai sampai sangat curam kearah kaki lereng sebagai akibat terlampauinya keseimbangan daya tahan lereng (Varnes, 1978) [1].

Adam (2008) menyatakan bahwa prediksi *run-out* pada aliran runtuh tanah adalah elemen penting dalam mengurangi potensi kerusakan dan digunakan sebagai mitigasi bencana [2]. Salah satu cara untuk memprediksi adalah dengan menggunakan model *Coulomb* sederhana seperti yang dilakukan oleh Firmansyah, dkk (2015) [3]. Namun dalam penelitian tersebut tidak meneliti sampai pada tahap mitigasi yang harus dilakukan pada lereng agar tidak terjadi longsor.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengusulkan untuk prediksi *run-out* dengan menggunakan model *Coulomb* sederhana. Dari hasil karakterisasi tersebut, kemudian diturunkan upaya mitigasi bencana tanah longsor dengan menggunakan analisis stabilitas lereng.

2. Metode Penelitian

Secara garis besar penelitian ini terdiri dari pengambilan sampel tanah bidang gelincir dan tanah bahan longsor dari lima lokasi longsor yang berbeda. Sampel tanah yang diambil kemudian dilakukan uji sifat fisik tanah di laboratorium. Kemudian parameter yang didapat dari hasil uji fisik digunakan juga untuk memodelkan volume tanah yang tidak stabil dan prediksi *run-out* tanah longsor. Dari hasil karakterisasi lereng dibuat upaya mitigasi bencana berdasarkan peningkatan Faktor Keamanan (FK). Berikut adalah alur penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alur penelitian.

Ada lima tempat kejadian tanah longsor yang diambil sampel tanah untuk diteliti. Setiap sampel tanah dikarakterisasi dengan menggunakan metode geoteknik. Parameter yang dibutuhkan untuk analisis stabilitas lereng adalah kuat geser dan berat isi yang telah didapat dari uji geoteknik. Menurut Terzaghi (1996) kuat geser juga dipengaruhi oleh egangan efektif sebagai pengaruh tegangan air pori sehingga persamaannya menjadi [4]:

$$t = c' + (\sigma - u) \tan \phi' \quad (1)$$

dimana :

t = kuat geser (kg/cm²)

c' = kohesi tanah efektif (kg/cm²)

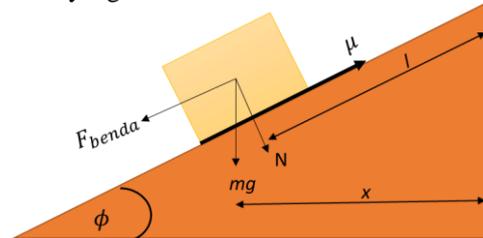
u = tekanan air pori (kg/cm²)

σ = tagangan norma efektif (kg/cm²)

ϕ = sudut gesek efektif (°)

Setelah didapat parameter kuat geser dan berat isi, kemudian dilanjutkan dengan menganalisis kestabilan lereng dengan menggunakan metode *Morgenstern-Price Method* (MP-M) yang pertama kali diusulkan oleh Morgenstern dan Price (1965) [5].

Untuk memprediksi *run-out* tanah longsor diperlukan informasi volume tanah yang tidak stabil, dan geometri area tersebut. Selanjutnya pergerakan tanah dapat ditentukan menggunakan sebuah pendekatan model *Coulomb* sederhana dengan menghitung energi potensial awal yang dimiliki oleh massa tanah yang tidak stabil.



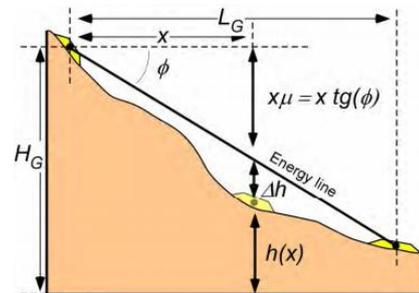
Gambar 2. Model gesekan *Coulomb* sederhana.

Dari Gambar 2 koefisien gesek dapat diturunkan berdasarkan hubungan kesetimbangan gaya ketika benda tepat akan bergerak, seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 F_{benda} &= F_{gesek} \\
 mg \sin(\phi) &= \mu N \\
 mg \sin(\phi) &= \mu mg \cos(\phi) \\
 \mu &= \tan(\phi) \quad (2)
 \end{aligned}$$

Dimana m= massa benda, g= percepatan gravitasi, ϕ = sudut gesek semu, N= gaya normal, dan μ = koefisien gesek.

Jaboyedoff dan Labiouse (2011) menggunakan hukum gesekan *Coulomb* untuk memprediksi *run-out* tanah dengan menganggap bahwa massa tanah bergerak hanya dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan gaya gesek bidang gelincir statis seperti ilustrasi yang dapat dilihat pada Gambar 3 [6].



Gambar 3. Ilustrasi pergerakan pusat massa tanah (Jaboyedoff et al., 2008) [7].

Dimana H_G = tinggi awal pusat massa tanah, x = jarak pusat massa tanah setelah berpindah, $h(x)$ = tinggi pusat massa pada jarak x , L_G = jangkauan maksimum.

Berdasarkan hukum kekekalan energi, posisi awal massa tanah memiliki energi potensial sebesar $E_p = mgH_G$, yang selanjutnya akan diubah menjadi energi kinetik yang hilang akibat gesekan seperti yang ditunjukkan pada persamaan 3. Dengan menganggap pusat massa telah bergerak pada posisi x seperti pada gambar, maka perubahan kecepatan untuk setiap posisi dapat diturunkan berdasarkan hukum kekekalan energi seperti persamaan 4.

$$\begin{aligned}
 E_{gesek} &= F_{gesek} \cdot l \\
 &= \mu |N| \cdot l \\
 &= \mu mg \cos(\phi) l \rightarrow l = \frac{x}{\cos(\phi)} \\
 &= \mu mgx \\
 E_{gesek} &= mgx \tan(\phi) \tag{3}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 mg(H_G - h(x)) &= \frac{1}{2}mv(x)^2 + mgx \tan(\phi) \\
 v(x)^2 &= 2g(H_G - h(x) - x \tan(\phi)) \\
 \text{misalkan } \Delta h &= (H_G - h(x) - x \tan(\phi))
 \end{aligned}$$

$$v(x) = \sqrt{2g\Delta h} \tag{4}$$

Untuk memperoleh jarak jangkauan maksimum (*run-out*), maka $v(x_{maks}) = 0$ pada Persamaan (3),

$$\begin{aligned}
 mg(H_G - h(x_{maks})) &= 0 + mgx_{maks} \tan(\phi) \\
 L_G = x_{maks} &= \frac{(H_G - h(x_{maks}))}{\tan(\phi)} \tag{5}
 \end{aligned}$$

Untuk kondisi dimana tanah telah berada permukaan $h(x_{maks}) = 0$ maka persamaan (5) dapat disederhanakan menjadi,

$$L = \frac{H}{\tan(\phi)} \tag{6}$$

Persamaan (6) merupakan persamaan umum untuk memprediksi *run-out* tanah longsor berdasarkan model diskrit dengan pendekatan pusat massa tanah tanah longsor.

Upaya mitigasi yang dilakukan berupa rekayasa lereng. Rekayasa lereng stabil dapat melalui berbagai cara terpadu dengan prosedur dimulai dari pemetaan wilayah rawan longsor, analisis kestabilan lereng melalui kajian Faktor Keamanan (FK), stabilitas dan rancang bangun lereng terpadu melalui simulasi lereng stabil, pengelolaan lingkungan, dan bio-engineering dengan memanfaatkan tanaman sebagai bagian dari sistem rekayasa lereng stabil (Zulfiandi, 2013) [8]. Rekayasa lereng yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan mengurangi massa tanah sehingga kemiringan lereng berkurang.

Sementara itu pada penelitian Anwar (2009) menggunakan bangunan untuk mencegah terjadinya

longsor seperti dinding penahan semi gravitasi karena bangunan tersebut tidak memerlukan dimensi yang besar untuk menahan tanah. Sehingga digunakan dinding penahan dengan dimensi: tinggi = 2,5 m, lebar 1,68 m, tebal kaki dinding = 0,25 m, dan dan tebal dinding = 0,25. Dinding penahan tanah semi gravitasi direncanakan pada kemiringan antara 8% - 30%, dengan kondisi tanah yang mudah longsor atau pada jenis tanah yang sangat peka terhadap longsor yang disebabkan oleh air hujan [9].

3. Hasil Dan Pembahasan

Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk menentukan volume tanah yang tidak stabil dan geometri longsor pada daerah dengan faktor keamanan (FK) yang paling kritis (FK~1,00). Berikut adalah parameter-parameter yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng seperti yang terlihat pada tabel. Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk menentukan volume tanah yang tidak stabil dan geometri longsor pada daerah dengan faktor keamanan (FK) yang paling kritis (FK~1,00). Informasi tersebut akan digunakan untuk memprediksi jangkauan pergerakan massa tanah dengan menggunakan pendekatan pusat massa berdasarkan model gesekan *Coulomb*. Parameter-parameter yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng telah diperoleh dari uji laboratorium mekanika tanah yang hasilnya disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Diasumsikan bahwa terdapat dua lapisan yang berbeda yaitu lapisan bidang gelincir longsor dan lapisan transisi (tanah bahan longsor). Lapisan bidang gelincir berdasarkan hasil uji sifat fisis di laboratorium memiliki kekuatan dan kepadatan lebih besar dibandingkan dengan lapisan lapisan transisi.

Tabel 1. Parameter tanah bidang gelincir untuk analisis stabilitas lereng

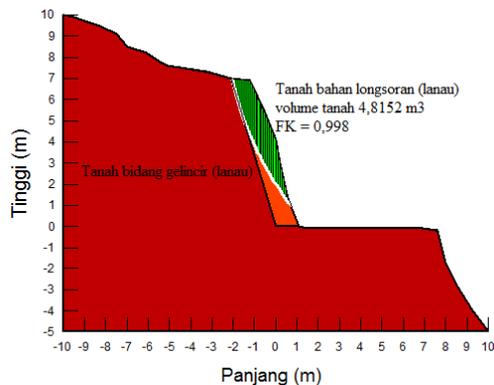
Bidang Gelincir	Berat Isi (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	Sudut Geser (°)
cjb1	14,52	4,70	58,51
cjb2	15,52	4,96	58,92
cjb3	14,44	4,15	55,63
lbg	13,40	2,13	57,7
sbg	14,17	3,80	51,03

Tabel 2. Parameter tanah bahan longsor untuk analisis stabilitas lereng

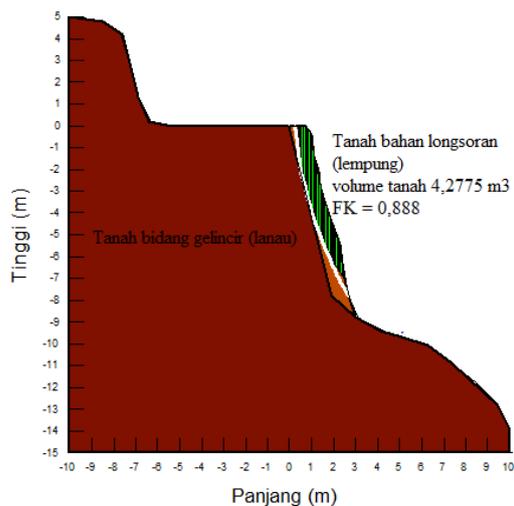
Bahan Longsor	Berat Isi (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	Sudut Geser (°)
cjb1	11,85	1,48	58,23
cjb2	12,99	2,46	55,18
cjb3	12,20	2,24	44,29

lbg	11,30	1,65	55,3
sbg	12,63	1,57	50,3

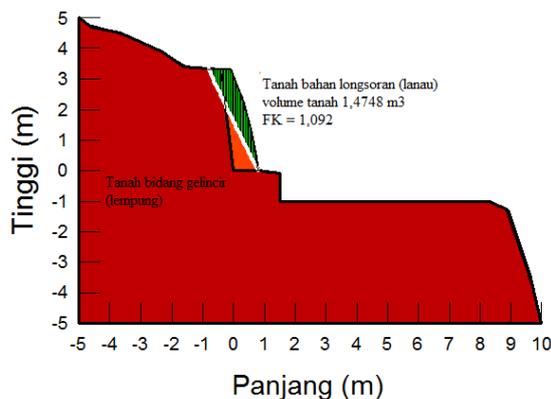
Dengan menggunakan metode Morgenstein-Price untuk menganalisis stabilitas lereng dengan nilai faktor keamanan mendekati 1 (FK~1,00). Kondisi FK~1,00 merupakan kondisi dimana tanah berada dalam kondisi kritis terjadinya pergerakan tanah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 sampai Gambar 8.



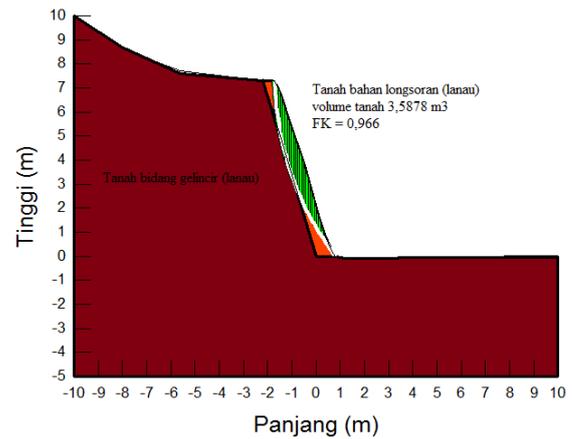
Gambar 4. Hasil perhitungan stabilitas lereng cjb1.



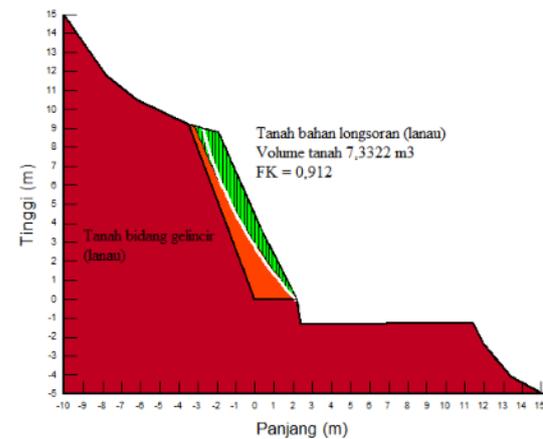
Gambar 5. Hasil perhitungan stabilitas lereng cjb2.



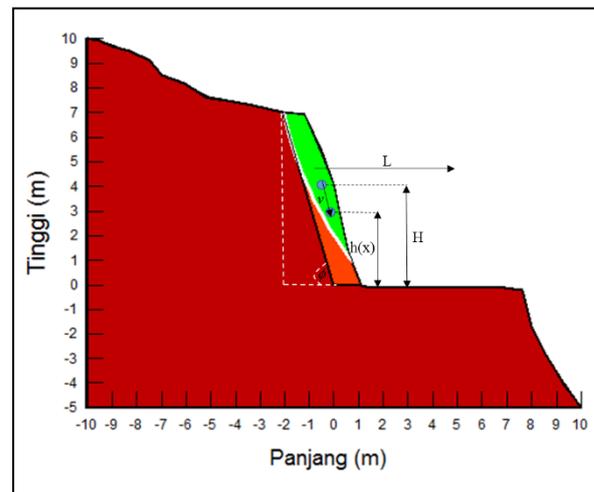
Gambar 6. Hasil perhitungan stabilitas lereng cjb3.



Gambar 7. Hasil perhitungan stabilitas lereng lbg.



Gambar 8. Hasil perhitungan stabilitas



Gambar 9. Parameter geometri yang digunakan dalam perhitungan kecepatan dan run-out pusat massa tanah bahan longsor.

Berdasarkan hasil perhitungan stabilitas lereng, warna hijau mengindikasikan volume massa tanah yang tidak stabil. Sedangkan tanah warna coklat merupakan tanah bidang gelincir yang relatif lebih kuat dan sukar bergerak. Parameter-parameter yang digunakan untuk menganalisis kecepatan dan jarak

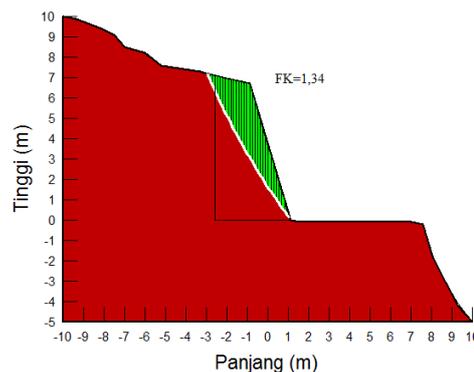
jangkauan pergerakan tanah terdapat pada Gambar 8 dan Tabel 3.

Tabel 3. Parameter-parameter yang digunakan dalam analisis run-out berdasarkan pusat massa.

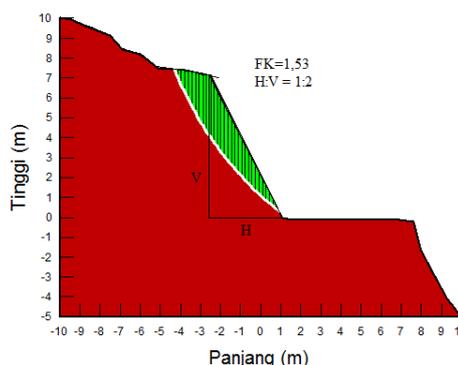
Parameter	cjb 1	cjb 2	cjb 3	lbg	sbg
Tinggi awal pusat massa (H)	4 m	3,9 m	1,4 m	3,5 m	4,1 m
Tinggi saat berada di jarak x $h(x)$	3 m	2,9 m	0,9 m	2,5 m	3,1 m
Sudut Geser (ϕ)	73°	76°	71°	73°	69°
Koefisien Gesek (μ)	3,2 7	4,01	2,90	3,27	2,60
Jangkauan pergerakan pusat massa tanah (L)	1,2 2 m	0,97 m	0,48 m	1,07 m	1,57 m
Kecepatan (v)	6,7 8 m/s	5,76 m/s	3,45 m/s	4,83 m/s	5,93 m/s

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 3, massa tanah diperkirakan akan menutupi sebagian jalan. Kecuali di lokasi cjb3 dikarenakan lereng yang tidak terlalu tinggi dan terdapat beton penahan didasar lereng, sehingga ketika terjadi longsor dampak yang ditimbulkan tidak terlalu besar. Parameter ketinggian dari pusat massa tanah bahan longsor merupakan parameter yang sangat berpengaruh pada hasil prediksi run-out. Hal tersebut dikarenakan longsor terjadi akibat adanya gaya gravitasi. Semakin tinggi pusat massa tanah bahan longsor maka semakin tinggi energi potensial yang dimilikinya. Ketika terjadi longsor maka energi potensial yang dimiliki oleh tanah bahan longsor dirubah menjadi energi kinetik sehingga menghasilkan kecepatan dan run-out pusat massa tanah bahan longsor. Perhitungan run-out ini belum mempertimbangkan efek volume dikarenakan keadaan sebenarnya yang kompleks, sehingga masih perlu ada kajian lebih lanjut terkait hal tersebut. Selain itu, diperlukan kajian mitigasi bencana tanah longsor agar lereng menjadi lebih stabil.

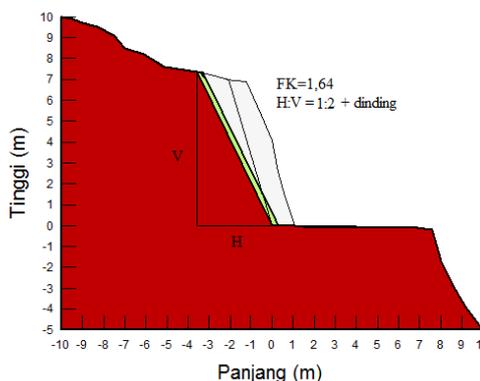
Dari hasil analisis stabilitas lereng kemudian diturunkan upaya mitigasi bencana dari masing-masing lereng. Upaya yang dilakukan adalah dengan rekayasa geometri dengan cara mengurangi massa tanah sehingga kemiringan dari setiap lereng akan berkurang. Agar pengurangan massa tanah mudah diaplikasikan saat dilapangan, maka digunakan perbandingan antara panjang lereng (H) dengan ketinggian lereng (V). Selain itu, penambahan dinding penahan lereng dimodelkan untuk mengetahui efektifitas mitigasi lereng berdasarkan nilai FK seperti yang terlihat pada Gambar 10 sampai Gambar 13.



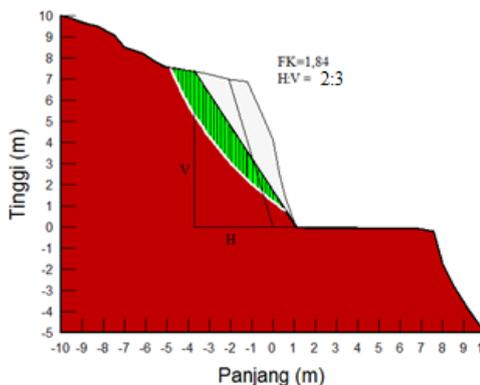
Gambar 10. Cjb1 pengurangan massa bahan longoran.



Gambar 11. Cjb1 perbandingan 1:2 tanpa dinding.



Gambar 12. Cjb1 perbandingan 1:2 dengan dinding.



Gambar 13. Cjb1 perbandingan 2:3 tanpa dinding.

Berdasarkan hasil pemodelan analisis stabilitas lereng dengan rekayasa geometri dan penambahan dinding penahan lereng, didapatkan hasil nilai FK dan massa tanah yang harus dikurangi pada lereng seperti pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4 dan tabel 5 menunjukkan bahwa semakin banyak massa tanah yang dikurangi maka lereng akan semakin landai sehingga akan meningkatkan nilai FK. Hal tersebut dikarenakan material massa tanah bidang gelincir memiliki nilai kuat geser yang lebih besar dari pada massa tanah bahan longsor. Pengurangan massa tanah bahan longsor akan meningkatkan nilai FK. Sementara itu penambahan dinding penahan juga dapat meningkatkan nilai FK walaupun tidak terlalu signifikan. Tetapi penambahan dinding penahan dapat mengurangi massa tanah yang berpotensi longsor. Hal tersebut dikarenakan material dinding terbuat dari semen yang memiliki nilai kuat geser jauh lebih besar dari pada kuat geser tanah.

Tabel 4. Nilai FK berdasarkan pengurangan massa tanah dan penambahan dinding.

(H:V)	FK				
	cjb1	cjb2	cjb3	lbg	sbg
Pengurangan bahan longsor	1,34	1,24	1,25	1,02	1,09
(1:2)	1,53	1,59	1,81	1,30	1,25
(1:2) + dinding	1,64	1,67	1,83	1,56	1,27
(2:3)	1,84	1,82	2,23	1,54	1,41

Perbandingan panjang lereng (H) dengan tinggi lereng (V) sebesar 1:2 tanpa dinding sudah membuat lereng menjadi lebih stabil dengan persentase rata-rata pengikatan nilai FK sebesar 53,6%. Pengurangan massa yang lebih sedikit dan efisiensi dana membuat pengurangan massa tanah dengan perbandingan H:V sebesar 1:2 sudah efektif untuk meningkatkan nilai FK sehingga mengurangi resiko terjadinya tanah longsor pada kelima lereng.

Tabel 5. Pengurangan massa tanah.

(H:V)	Pengurangan Massa Tanah (m ³)				
	cjb1	cjb2	cjb3	lbg	sbg
Pengurangan bahan longsor	4,81	4,28	1,47	3,58	7,33
(1:2)	4,96	9,6	1,72	3,92	2,44
(2:3)	8,4	16,19	2,97	8,98	9,75

4. Simpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Hasil dari perhitungan *run-out* dan volume massa tanah bahan longsor berdasarkan analisis stabilitas lereng dengan FK~1 (tanah keadaan kritis) menunjukkan bahwa tanah bahan longsor akan menutupi jalan jika terjadi longsor.
2. Dari hasil pemodelan analisis stabilitas lereng didapatkan bahwa pengurangan massa tanah dengan perbandingan 1:2 (tinggi lereng/panjang lereng) tanpa dinding penahan telah meningkatkan nilai FK sehingga lereng menjadi lebih stabil (FK>1,25).

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kepada Geoteknologi LIPI sebagai tempat melakukan uji sifat fisik tanah. Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian hibah bersaing Dikti (pendanaan 2016).

Daftar Acuan

- [1] Varnes. D.J. (1978). Slope Movement Types and Processes. In: Special report 176: Landslides Analysis and Control (eds: Schuster, R.L. & Krizek, R.J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D.C., 11-33.
- [2] Adam B, Prochaska. 2008. Debris-flow Runout Prediction Based on the Average Chanel Slope (ACS). Engineering Geology 98 (2008) 29-40.
- [3] Firmansyah, S. Feranie, A. Tohari, dan F.D.E. Latief. 2015. Prediction of landslide *Run-out* distance Based on slope Stability Analysis and Center of Mass Approach, *Padjajaran Earth Dialogues: International Symposium on Geophysical Issues, Studies On The Mechanisms of The Earth Surface Formation*, 8-10 June 2015, Jatinangor, Indonesia.
- [4] Terzaghi, Karl, R.B, Peck, dan G, Mesri. 1996. Soil Mechanics in Engineering Practice 3 ed. John Wiley & Sons, New York.
- [5] Morgenstern. N.R., and V.E. Price. 1965. The Analysis of the Stability of General Slip Surface *Geotechnique* Vol 15 (1) pp 77-93.
- [6] Jaboyedoff. M., and V. Labiouse. 2011. Technical Note: Preliminary Estimation of Rockfall *Run-out* Zones, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 819-828.
- [7] Jaboyedoff. M., P. Horton., A. Loye., & A. Pedrazzini. (2008). Run-out-Empirical Approaches. Workshop Barcelona 2008 Mountain Risks.
- [8] Zulfiandi. Z., 2013. *Bio-Engineering*, Melalui Pemanfaatan Tanaman Kaliandra di Wilayah Zona Rawan Longsor Jawa Barat. Bulletin of Scientific Contribution, Volume11, Nomor 3, Desember 2013: 168-17.
- [9] Anwar, R. 2009. Penanggulangan Erosi Secara Struktural Pada Daerah Aliran Sungai Bango. Jurnal Rekayasa Sipil, Volume3, No.1 – 2009 ISSN 1978 – 5658. Firmansyah, S. Feranie, A. Tohari, dan F.D.E. Latief. 2015. Prediksi Jangkauan Pergerakan Tanah Longsor Menggunakan Model Gesekan *Coulomb* Sederhana. SNIPS ITB, 8-9 Juni 2015.