

Prediksi Jangkauan Pergerakan Tanah Longsor Menggunakan Model Gesekan Coulomb Sederhana

Firmansyah*, S Feranie, A Tohari, dan F D E Latief

Abstrak

Telah banyak kajian mengenai tanah longsor yang pada umumnya dilakukan para peneliti terdahulu, diantaranya yaitu menggunakan metode geolistrik untuk mengidentifikasi adanya nilai resistivitas yang kontras yang mengindikasikan adanya bidang gelincir namun memiliki keterbatasan dalam hal interpretasi dimana harus dikorelasikan dengan data bor, lalu terdapat metode geologi teknik untuk menghitung kemantapan (*stabilitas*) lereng yang dapat memberikan informasi mengenai zona potensi longsor namun tidak sampai memprediksi jarak jangkauan pergerakan tanah. Oleh karena itu, pada paper ini mengusulkan suatu model sederhana untuk memprediksi jangkauan pergerakan tanah. Dimana pendekatan yang diterapkan pada model ini adalah massa tanah longsor dianggap sebagai satu kesatuan titik pusat massa (*model diskrit*) dan perhitungan jangkauan menggunakan teori gesekan Coulomb. Metode ini diterapkan pada model elevasi longsor rotasi dengan data elevasi yang digunakan berdasarkan data pengukuran di salah satu daerah potensi longsor di Jawa Barat.

Kata-kata kunci: gesekan Coulomb, jangkauan longsor, longsor rotasi, pusat massa tanah

Pendahuluan

Kajian mengenai pergerakan tanah/ longsor telah menarik banyak perhatian dari berbagai pihak dikarenakan hal ini merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi pada beberapa daerah di Jawa Barat, khususnya ketika curah hujan sedang tinggi. Para peneliti terdahulu pada umumnya menggunakan beberapa metode dalam mengkaji permasalahan longsor seperti menggunakan metode geolistrik resistivitas untuk mengidentifikasi bidang gelincir, metode geologi teknik untuk menghitung stabilitas lereng, dan lain sebagainya. Dimana metode geolistrik bersifat subjektif karena interpretasi dan analisis nilai resistivitas bergantung pada kondisi geologi setempat yang dapat dikonfirmasi dengan melakukan pemboran sampel tanah (*coring*) seperti yang dilakukan oleh Grandjean, dkk (2009), Mohd, dkk (2012), dan lain-lain. Namun masih terdapat beberapa peneliti yang tidak melakukan *coring* dalam menginterpretasikan data geolistrik seperti pada penelitian Kusnahadi, dkk (2010), Mimin, dkk (2011), dan lain-lain. Sedangkan metode geologi teknik bersifat objektif karena berdasarkan sifat fisik material tanah longsor dengan kondisi kestabilan lereng saat itu secara langsung dengan menguji sampel di laboratorium, seperti yang dilakukan oleh Sugianti (2012) dan Adrin (2013), namun tidak sampai memprediksi jangkauan tanah longsor.

Berdasarkan pemaparan tersebut, dalam paper ini kami mengusulkan suatu model gesekan Coulomb sederhana untuk memprediksi jangkauan pergerakan tanah pada model longsor rotasi.

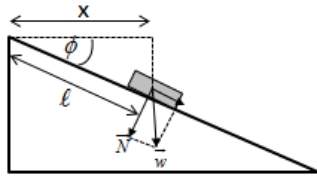
Metode Penelitian

Secara umum pemodelan dalam memprediksi jangkauan pergerakan tanah dibagi menjadi dua (Safeland, 2010) yaitu model empirik (berdasarkan hasil eksperimen) dan model rasional. Dalam model rasional terdapat dua buah model diantaranya yaitu model kontinu (yang memperhatikan perilaku secara mekanika, termodinamika, dan hidrolis) dan model diskrit yang dapat berupa *Lumped Mass Model* dan *Slab Model*. Model diskrit *lumped mass model* telah diterapkan dalam penelitian ini untuk penyelidikan awal, dimana model ini merupakan model sederhana yang menganggap massa longsor konstan sepanjang lintasan (Blassio, 2011). Penelitian serupa juga dilakukan oleh Duden (2014) dengan tinjauan longsor yang terjadi di Cililin, Batujajar.

Sebelum proses pengkarakterisasian jarak jangkauan longsor diperlukan beberapa informasi seperti ukuran/ volume massa yang tidak stabil yang kemungkinan besar akan bergerak, probabilitas yang dapat memicu ketidakstabilan lereng, dan geometri serta luasan area deposit (Crosta, 2003). Setelah informasi tersebut diperoleh maka langkah selanjutnya adalah menganalisis jarak jangkauan pergerakan tanah.

Pergerakan tanah dapat ditentukan menggunakan sebuah pendekatan geometri sederhana dengan menghitung energi potensial awal yang dibawa oleh suatu massa tanah. Namun dalam hal ini, kebergantungan volume tidak diperhitungkan. Pendekatan ini dikenal

sebagai model gesekan Coulomb sederhana (gambar 1).



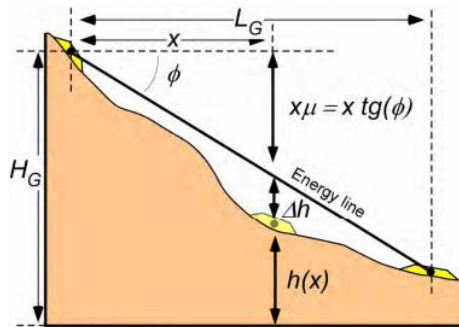
Gambar 1. Model gesekan Coulomb sederhana (sebuah blok yang bergerak pada bidang miring)

Berdasarkan gambar di atas, koefisien gesek dapat diturunkan berdasarkan hubungan kesetimbangan gaya (yaitu ketika benda tepat akan bergerak) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_{benda} &= F_{gesek} \\ mg \sin(\phi) &= \mu N \\ mg \sin(\phi) &= \mu mg \cos(\phi) \\ \mu &= \tan(\phi) \end{aligned} \quad (1)$$

(dimana m = massa, g = percepatan gravitasi, ϕ = sudut gesek semu, N = gaya normal, dan μ = koefisien gesek)

Dengan menganggap bahwa massa tanah longsor bergerak yang hanya dipengaruhi gaya gravitasi dan gaya gesek saja, maka hukum gesekan Coulomb dapat diterapkan untuk menggambarkan pergerakannya seperti yang sudah dijelaskan oleh Jaboyedoff dan Labiouse (2011) dengan ilustrasi dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi pergerakan pusat massa tanah (berasal dari Jaboyedoff et al., 2008)

(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 = jarak pusat massa setelah terdeposit sepenuhnya/ jangkauan maksimum)

Berdasarkan hukum kekekalan energi, pada posisi awal massa tanah membawa energi potensial sebesar $E_p = mgH_G$, yang kemudian akan ditransformasikan menjadi energi kinetik ketika massa tanah mulai bergerak dan terdapat

energi yang hilang akibat gesekan yang ditunjukkan pada persamaan dibawah ini:

$$\begin{aligned} E_{gesek} &= F_{gesek} \cdot l \\ &= \mu |N| \cdot l \\ &= \mu mg \cos(\phi) l \rightarrow l = \frac{x}{\cos(\phi)} \\ &= \mu mgx \\ E_{gesek} &= mgx \tan(\phi) \end{aligned} \quad (2)$$

Perubahan kecepatan untuk setiap posisi dapat diturunkan berdasarkan hukum kekekalan energi, dimana kita misalkan pusat massa tanah yang telah bergerak pada posisi x seperti pada gambar 2 sehingga diperoleh hubungan seperti berikut:

$$mg(H_G - h(x)) = \frac{1}{2}mv(x)^2 + mgx \tan(\phi) \quad (3)$$

Maka, persamaan kecepatan untuk setiap posisi diperoleh,

$$\begin{aligned} v(x)^2 &= 2g(H_G - h(x) - x \tan(\phi)) \\ \text{misalkan } \Delta h &= (H_G - h(x) - x \tan(\phi)) \\ v(x) &= \sqrt{2g\Delta h} \end{aligned} \quad (4)$$

Untuk memperoleh jarak jangkauan maksimum, substitusi $v(x_{maks}) = 0$ pada persamaan (3),

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

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

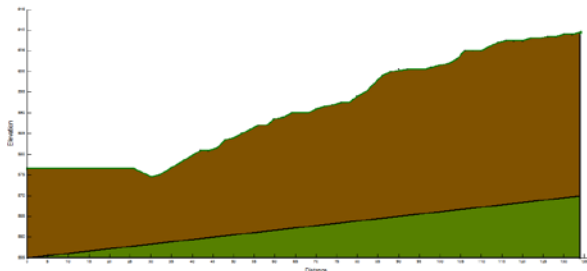
$$L = \frac{H}{\tan(\phi)} \quad (6)$$

Persamaan (6) merupakan persamaan umum untuk memprediksi jarak jangkauan longsor berdasarkan model diskrit dengan pendekatan pusat massa.

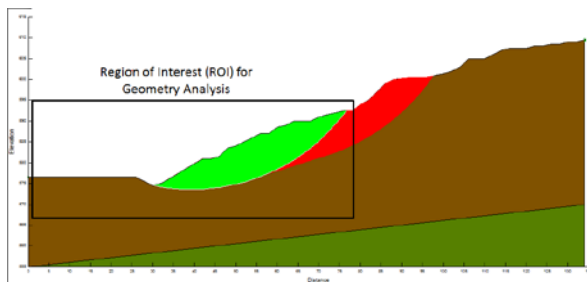
Hasil dan diskusi

Seperti yang telah disebutkan di atas, sebelum dapat memprediksi jangkauan pergerakan tanah diperlukan informasi geometri lereng dan bidang gelincir serta ukuran massa tanah/ volume tanah tidak stabil yang diperkirakan akan bergerak seperti yang

ditunjukkan pada gambar 3. Penentuan massa tanah/ volume yang tidak stabil dijelaskan secara terpisah dalam artikel yang lain (Firmansyah, 2015).



(a)



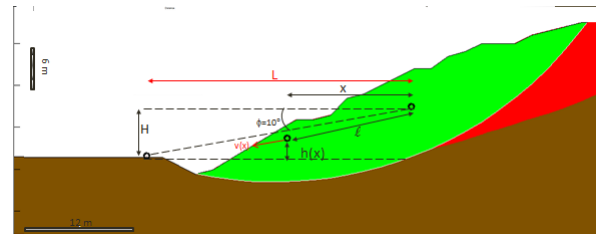
(b)

Gambar 3 (a) Model geometri lereng (elevasi) (b) Massa/ volume tanah yang tidak stabil (warna hijau) yang diprediksi akan longsor/ bergerak pada bidang gelincir berbentuk melengkung (longsoran rotasi) dimana warna merah merupakan zona aman/ cukup stabil.

Model geometri lereng pada gambar tersebut menggunakan data elevasi yang telah diperoleh pada penelitian sebelumnya pada salah satu daerah potensi longsor, sehingga koordinat untuk setiap sumbu x maupun y memiliki satuan meter. Dimana geometri bidang gelincirnya berbentuk melengkung sehingga dapat dikatakan jenis longsoran rotasi berdasarkan klasifikasi tipe longsoran yang diusulkan oleh Varnes (1978). Setelah mengetahui ukuran atau volume massa tanah yang tidak stabil, langkah selanjutnya adalah menentukan posisi pusat massa. Dalam hal ini, kami memperkirakan posisi pusat massa berada ditengah-tengah (secara manual) seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Kemudian menarik garis menuju daerah yang horizontal sehingga diperoleh garis miring seperti pada model gesekan Coulomb sebelumnya, sehingga parameter-parameter lainnya dapat diperoleh seperti sudut gesek semu dan posisi serta ketinggian berdasarkan koordinat pada gambar tersebut. Adapun parameter-parameter yang digunakan untuk perhitungan prediksi jarak jangkauan telah terangkum pada tabel 1.

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan-persamaan

sebelumnya diperoleh bahwa bahwa pusat massa tanah tersebut diperkirakan dapat mencapai jangkauan maksimum sekitar 34.43 m



Gambar 4. Perhitungan prediksi jarak jangkauan pada lokasi yang telah diperbesar berdasarkan region of interest (ROI)

Tabel 1. Nilai parameter yang digunakan dalam perhitungan jarak jangkauan.

Parameter-parameter	Nilai	Satuan
H	6	M
ϕ	10	$^{\circ}$
μ	0.176	
x	14.7	m
h(x)	2.2	m
v(x)	4.86	$m.s^{-1}$
L	34.43	m

relatif terhadap posisi awal pusat massa tanah. Dimana ketika pusat massa telah bergerak hingga pada posisi $x = 14.7$ meter, diperkirakan memiliki kecepatan sebesar $4.86 m.s^{-1}$. Nilai kecepatan ini relatif lebih lambat dibandingkan dengan kecepatan longsoran rotasi pada umumnya yaitu sekitar $10 m.s^{-1}$ dapat dipengaruhi oleh perbedaan ketinggian yang tidak signifikan atau relatif lebih kecil ($< 10 m$) dan juga dapat dipengaruhi oleh penentuan posisi pusat massa yang kurang tepat (dalam hal ini diestimasi secara manual) serta penentuan besarnya sudut gesek yang menghasilkan nilai koefisien gesek.

Kesimpulan

Metode ini dapat digunakan untuk memprediksi jarak jangkauan pergerakan tanah pada model longsoran rotasi. Dengan nilai parameter model yang diperoleh yaitu H (tinggi awal pusat massa terhadap bidang horizontal) = 6 meter, ϕ (sudut gesek semu) = 10° , μ (koefisien gesek) = $\tan(\phi) = 0.176$, dan L (jangkauan longsoran) = 37.43 meter.

Saran penelitian selanjutnya

Keakuratan nilai prediksi jangkauan bergantung pada penentuan posisi pusat massa material longsor dan penentuan besar sudut gesek semu sehingga disarankan untuk menggunakan perhitungan ataupun dapat dilakukan menggunakan metode *digital image analysis* (DIA) untuk memperoleh nilai yang maksimal. Selain itu, metode ini belum dapat digunakan untuk menganalisis distribusi material longsor yang terdeposit. Sehingga diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat menganalisis distribusi material longsor khususnya bagian depan dari massa tanah yang bergerak.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan finansial yang didanai oleh program penelitian Desentralisasi DIKTI-ITB 2015

Referensi

- [1] G. Grandjean, "From geophysical parameters to soils characteristics". FP7-DIGISOIL Project Deliverable 2.1. (2009)
- [2] M. Hazreek, Rosli, Fauziah, Devapriya Chitral Wijeyesekera, Mohamad Faizal. "Integral Analysis of Geoelectrical (Resistivity) And Geotechnical (SPT) Data In Slope Stability Assesment", Academic Journal of Science 1 (2), 305-316 (2012).
- [3] M.Iryanti, T.R. Ramalis, N.D. Ardi, "Identifikasi Bawah Permukaan di Wilayah Desa Kayuambon, Lembang, Kabupaten Bandung Barat", Prosiding Simposium Nasional Inovasi Pembelajaran dan Sains 2011 (SNIPS 2011), 22-23 Juni, Bandung, Indonesia, pp.
- [4] K. Susanto, A. Zaenudin, "Karakterisasi Zona *Sliding* di Perbukitan Ranggawulung Subang dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis", Bekala Fisika, 13 (2), D19-D24 (2010).
- [5] K. Sugianti, "Pengaruh Muka Airtanah Terhadap Kestabilan Lereng pada Ruas Jalan Raya Cadas Pangeran, Sumedang", Riset Geologi dan Pertambangan, 22 (2), 105-113 (2012).
- [6] A. Tohari, "Variations of Pore-Water Pressure Responses In A Volcanic Soil Slope To Rainfall Infiltration", Riset Geologi dan Pertambangan, 23 (2), 97-111 (2013).
- [7] Safeland, "Recommendations for runout models for use in landslide hazard and risk mapping, Deliverable 1.9, October (2010).
- [8] D. Saepuzaman, "Pemodelan Proses Longsor Cililin Menggunakan *Lumped Mass Model*", Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung, Indonesia, 2014.
- [9] F.V.D. Blasio, "Introduction to The Physics of Landslides", Springer, London-New York (2011).
- [10] G.B. Crosta, S. Imposimato, dan D.G. Roddeman, "Numerical modelling of large landslides stability and runout", Natural hazards and Earth System Sciences, 3, 523-538 (2003).
- [11] M. Jaboyedoff, P. Horton, A. Loye, dan A. Pedrazzini, "Runout-empirical approaches", Workshop Barcelona 2008 Mountain Risks, 01 September 2008.
- [12] M. Jaboyedoff dan V. Labiouse, "Technical Note: Preliminary estimation of rockfall runout zones", Natural Hazards and Earth System Sciences, 11, 819-828 (2011).
- [13] Firmansyah, S. Feranie, A. Tohari, dan F.D.E. Latief, "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, Jatiningor, Indonesia.

Firmansyah*
Departemen Fisika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Pendidikan Indonesia
firmansyah72@student.upi.edu

Selly Feranie
Departemen Fisika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Pendidikan Indonesia
feranie@upi.edu

Adrin Tohari
Pusat Penelitian Geoteknologi (P2G)
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
adrin@geotek.lipi.go.id

Fourier Dzar Eljabbar Latief
Fisika Bumi dan Sistem Kompleks
Institut Teknologi Bandung
fourier@fi.itb.ac.id

*Corresponding author