

MODEL *BLACK BOX* UNTUK IDENTIFIKASI TINGKAT KERAWANAN LONGSORLAHAN (*LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY*) DI KABUPATEN KARANGANYAR, JAWA TENGAH

Kuswaji Dwi Priyono¹⁾, Aditya Saputra²⁾, dan Jumadi³⁾
^{1,2,3}Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta
 email: Kuswaji.Priyono@ums.ac.id

Abstrak

This study aims to determine: the distribution of landslide occurrence, the level of vulnerability (susceptibility) landslide, and the factors that trigger landslides most dominant in the study area. The method used in this research is the integration between the use of bivariate statistical method with geographic information systems and validation in the field. Data were analyzed using bivariate statistical approach to determine the weight of each variable to the existing landslide. Model Black Box prepared by linking the data to the existing landslide slope parameters, geology, soil, land use, and intensity of rainfall. The results showed that Karanganyar have high landslide susceptibility: Very Low, Low, High, and Very High. High level of vulnerability to landslides scattered in District Tawangmangu, Margoyoso, Matesih, Karangpandan, and Jatiyoso. Factors most dominant trigger longsorlahan class condition slope is 3; rock lithology volcanic breccia and tuff Lawu who have undergone intensive weathering and truncated by the fault; latosols wide reddish brown soil; moor land use; and rainfall of 3,000 to 3,500 mm, which lasted for a long time.

Keywords: *landslide hazard map, bivariate statistics, weights trigger landslides*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada zona tumbukan lempeng tektonik yang sangat aktif. Ketiga lempeng tektonik tersebut adalah Lempeng Hindia-Australia, Pasifik, dan Eurasia. Konfigurasi lempeng tektonik tersebut menyebabkan Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan terhadap bencana gunungapi, gempa bumi, dan tsunami. Bencana tanah longsorlahan juga sering terjadi di berbagai daerah di negara ini karena Indonesia merupakan salah satu negara tropis yang memiliki intensitas curah hujan sangat tinggi.

Secara definitif tanah longsorlahan atau yang sering disebut longsorlahan

(*landslide*) merupakan gerak massa batuan, debris, atau tanah menuruni lereng akibat pengaruh gravitasional (Alkema, et al., 2005). Longsorlahan lebih bersifat bencana musiman (*seasonal*) yaitu terjadi hanya pada musim penghujan berbeda dengan bencana gempa bumi dan tsunami yang tidak mengenal musim. Dampak yang ditimbulkan oleh longsorlahan lebih bersifat lokal dan berpotensi menimbulkan korban jiwa karena proses terjadinya yang relatif cepat dan tiba-tiba. Bahkan menurut beberapa ahli bencana, longsorlahan menduduki peringkat ketiga bencana alam yang paling berbahaya karena dampak yang ditimbulkan seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Statistik Terjadinya Longsorlahanlahan di Berbagai Daerah di Dunia
April 1903-Januari 2007

Benua	Kejadian	Korban meninggal	Luka-luka	Kehilangan Tempat tinggal	Terdampak	Total Terdampak	Kerusakan US (000*\$)
Afrika	23	745	56	7.936	13.748	21.740	-
Amerika	145	20.684	4.809	186.752	4.485.037	4.676.598	1.226.927
Asia	255	18.299	3.776	3.825.311	1.647.683	5.476.770	1.534.893
Eropa	72	16.758	523	8.625	39.376	48.524	2.487.389
Oseania	16	542	52	18.000	2.963	21.015	2.466
Total	511	57.028	9.216	4.046.624	6.188.807	10.244.647	5.251.675

Sumber: EM-DAT 1903-2007, dalam Alkema, et al., 2005.

Di Indonesia sendiri sejak tahun 1994-1998 kejadian longsorlahan terjadi di sekitar 410 lokasi yang tersebar di beberapa provinsi, mengakibatkan 597 korban jiwa, 3.400 rumah rusak, 1.003 ha lahan pertanian rusak, dan 7.483,5 m jalan rusak (Sutikno, 1997). Pada tahun 2003-2005 sedikitnya terjadi 103 kejadian longsorlahan yang tersebar di Provinsi Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Sumatera Barat, Sumatera Utara, Sulawesi Selatan, dan Papua. Kejadian tersebut mengakibatkan 411 korban meninggal, 149 korban luka-luka, 4.608 rumah rusak dan hancur, 751 ha lahan pertanian rusak, dan 920 m jalan rusak (DVMBG, 2007).

Secara topografis sebagian wilayah Kabupaten Karanganyar memiliki lereng yang curam karena lokasinya berada pada daerah vulkan. Topografi yang beragam serta tingginya curah hujan di daerah penelitian ini menyebabkan frekuensi terjadinya pelapukan, erosi, gerak massa termasuk longsorlahan yang sangat tinggi. Bahkan di beberapa daerah terdapat lahan kritis sebagai akibat tingginya aktifitas geomorfis di daerah ini.

Beberapa tempat yang mengalami kerusakan lahan diantaranya adalah Desa Kembang, Kopen, Girimulyo, dan Slogoretno. Kondisi ini diperparah dengan aktifitas manusia yang sering kali mengabaikan konsep konservasi lahan untuk melindungi lahan dan upaya mitigasi bencana longsorlahan. Beberapa aktifitas manusia yang mudah diidentifikasi adalah

pemanfaatan lahan yang kurang sesuai misalnya untuk tegalan dan sawah. Aktifitas penebangan hutan juga sering ditemukan pada lahan yang memiliki kemiringan lereng hingga 25%.

Mengingat dampak yang ditimbulkan oleh bencana longsorlahan tersebut, maka diperlukan upaya identifikasi dan karakterisasi kejadian longsorlahan di daerah penelitian. Dengan demikian penduduk setempat dapat mengetahui dengan pasti agihan daerah-daerah yang rawan terhadap longsorlahan beserta faktor-faktor apa yang berpengaruh pada proses di dalamnya. Selain itu identifikasi dan pemetaan longsorlahan ini dapat dijadikan rujukan untuk mendesain arahan penggunaan lahan yang cocok di daerah penelitian serta merupakan salah satu upaya awal mitigasi bencana longsorlahan yang dapat diterapkan di daerah penelitian.

Akibat pertumbuhan pariwisata, Kabupaten Karanganyar mengalami perubahan penggunaan lahan yang pesat dan bervariasi. Variasi penggunaan lahan ini mengindikasikan tingkat aktivitas manusia yang sangat tinggi. Selain didominasi oleh tingkat kemiringan miring hingga terjal, wilayah ini juga memiliki tingkat intensitas hujan yang relatif tinggi. Ketidaksesuaian penggunaan lahan akibat aktivitas manusia yang tinggi dapat menyebabkan bencana tanah longsorlahan bahkan kerusakan lahan di daerah penelitian. Penelitian yang mengkaji mengenai tingkat kerawanan longsorlahan di daerah penelitian hingga saat ini belum pernah dilakukan, sehingga belum

diketahui secara pasti agihan kerawanan longsorlahan dan faktor-faktor yang dominan yang dapat memicu terjadinya bencana longsorlahan.

Tujuan dari penelitian ini adalah: (1) mengetahui agihan kejadian longsorlahan di daerah penelitian; (2) mengetahui tingkat kerawanan (*susceptibility*) longsorlahan di daerah penelitian; dan (3) mengetahui faktor-faktor yang paling dominan yang dapat memicu terjadinya longsorlahan.

Berdasarkan tujuan dari penelitian tersebut maka dapat diketahui hubungan

antara tujuan penelitian dengan pertanyaan penelitian seperti tercantum dalam Tabel 2. Kejadian longsorlahan yang dianalisis merupakan kejadian longsorlahan yang pernah terjadi hingga 5 tahun yang lalu. Hal ini dikarenakan pengumpulan data longsorlahan *existing* dilakukan dengan data primer di lapangan. Kejadian longsorlahan yang sudah lama akan susah untuk diidentifikasi. Penentuan tingkat kerawanan longsorlahan (*landslide susceptibility*) dilakukan dengan pendekatan statistik multivariat dengan variabel yang digunakan adalah kelerengan, geologi, tanah, penggunaan lahan, dan tingkat curah hujan.

Tabel 2. Hubungan Tujuan Penelitian dengan Pertanyaan Penelitian

Tujuan Penelitian	Pertanyaan Penelitian
Mengetahui agihan kejadian longsorlahan di daerah penelitian	Bagaimana persebaran kejadian longsorlahan di daerah penelitian ?
Mengetahui tingkat kerawanan (<i>susceptibility</i>) longsorlahan di daerah penelitian	Bagaimana tingkat kerawanan longsorlahan di daerah penelitian ? (berdasarkan variabel yang dianalisis)
Mengetahui faktor-faktor yang paling dominan yang dapat memicu terjadinya longsorlahan	Variabel apa yang memiliki korelasi paling tinggi dengan kejadian longsorlahan <i>existing</i> ?

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah memberikan informasi baik kepada warga dan pemerintah setempat mengenai tingkat kerawanan longsorlahan di daerah penelitian serta memberikan gambaran variabel apa yang paling berpengaruh memicu kejadian longsorlahan untuk kepentingan penyusunan arahan penggunaan lahan.

2. METODE PENELITIAN

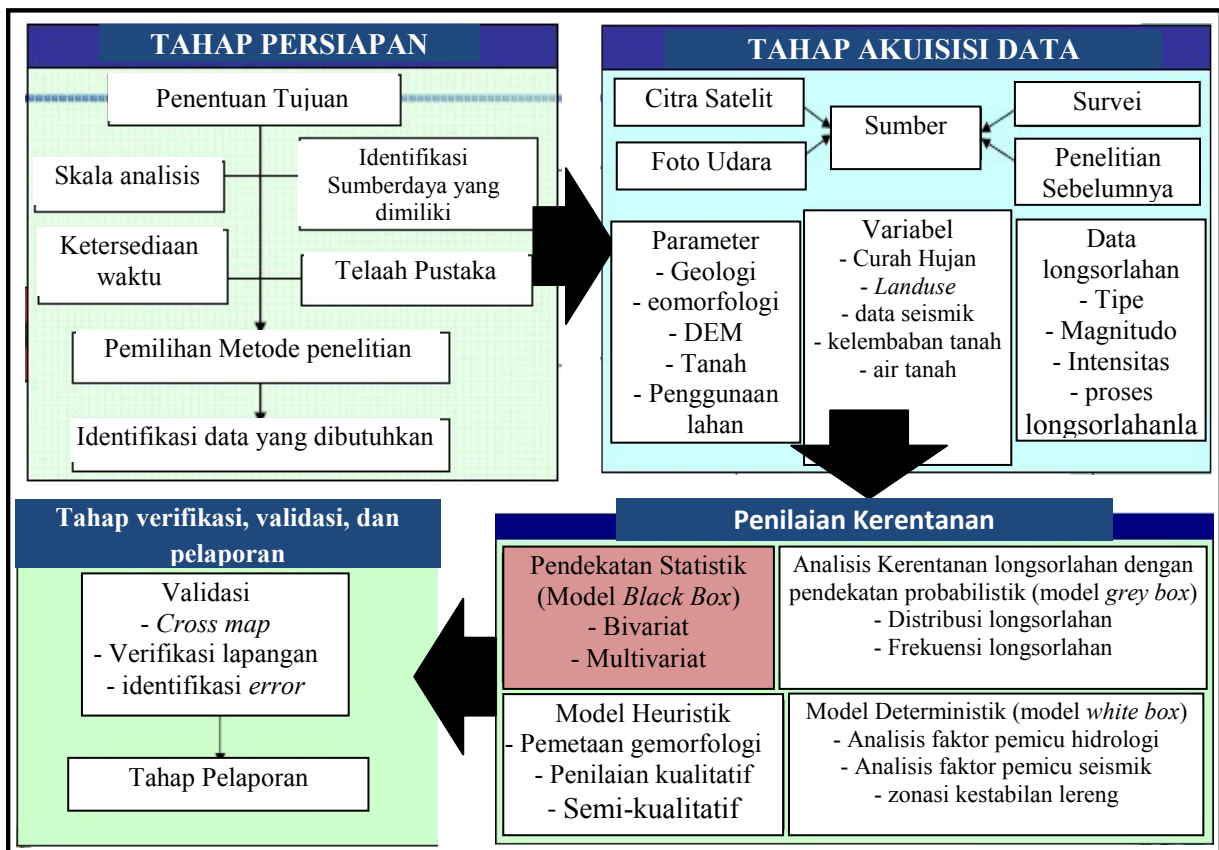
Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan integrasi antara penggunaan metode statistik bivariat dengan sistem informasi geografis serta validasi di lapangan. Hasil analisis dengan pendekatan statistik bivariat akan menghasilkan bobot setiap variabel terhadap kejadian tanah longsorlahan yang kemudian digunakan sebagai dasar analisis dalam sistem informasi geografis. Produk dari penelitian ini adalah peta tingkat kerawanan longsorlahan di

daerah penelitian. Beberapa alat (*tools*) yang digunakan untuk memperoleh, mengolah, dan mencetak data antara lain : (1) Perangkat komputer (*hardware*) dengan spesifikasi tertentu untuk mengolah dan mencetak data; (2) Perangkat lunak (*software GIS*) untuk mengolah data spasial : ArcGIS 9.3 ; Garmin MapSource 3.3, dan ILWIS 3.0; (3) Perangkat lunak pendukung : MS Office Tools 2007.

Peralatan tambahan : GPS untuk menentukan titik di lapangan ; tabel isian untuk mencatat data ; kamera untuk merekam gambar lokasi survey. Tahapan penelitian ini terbagi menjadi 4 tahapan utama yaitu tahap persiapan, akuisisi data, penilaian kerawanan longsorlahan, validasi di lapangan. Tahap persiapan meliputi merumuskan tujuan penelitian, skala analisis, pemilihan metodologi, dan penentuan data yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Dalam tahap ini peneliti juga melakukan studi literatur mengenai

longsorlahan dan penilaian kerawanan longsorlahan. Pada tahap kedua dilakukan data akuisisi baik melalui kerja lapangan, interpretasi citra, maupun proses yang melibatkan sistem informasi geografis. Pada tahapan ini bertujuan untuk menyiapkan data mentah seperti geologi, tanah, lereng, penggunaan lahan, dan erosi, untuk selanjutnya akan diproses pada tahap selanjutnya. Penilaian kerawanan longsorlahan menggunakan pendekatan statistik bivariat.

Pada tahap ini semua variabel yang dianalisis akan diuji secara statistik terhadap data kejadian longsorlahan. Bobot pada masing-masing variabel yang telah diketahui selanjutnya digunakan dalam proses *overlay* pada sistem informasi geografis dan dilanjutkan dengan tahap validasi dan verifikasi di lapangan. Gambaran kerangka penelitian ini disajikan pada Diagram Alir Penelitian (Gambar 1 berikut).



Gambar 1. Kerangka Penelitian Kerentanan Longsorlahan, Sumber: Alkema et al., 2006 dengan modifikasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kabupaten Karanganyar secara astronomis terletak pada koordinat $110^{\circ}43'38''$ - $111^{\circ}11'24''$ Bujur Timur dan $7^{\circ}6'17''$ - $7^{\circ}46'07''$ Lintang Selatan dan secara geografis berada di lereng Gunungapi Lawu sebelah barat. Luas Kabupaten Karanganyar secara keseluruhan adalah 773.378,64 ha dengan ketinggian rata-rata 511 m dpal (di atas permukaan air laut) dengan variasi

antara 105-2000 m dpal. Tipe iklim di Kabupaten Karanganyar termasuk Tipe B (basah), merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap kejadian longsorlahan. Berdasarkan data curah hujan harian selama 10 tahun, menunjukkan bahwa rata-rata curah hujan tahunan sebesar 3.016 mm dengan rata-rata bulan basah tertinggi terjadi pada bulan Januari (530,7 mm) dan rata-rata curah hujan terkering terjadi pada

bulan Juli (32,9 mm). Rerata jumlah bulan basah (>100 mm) sebanyak 8 bulan (Oktober-Mei) dan rerata jumlah bulan kering (< 60 mm) sebanyak 4 bulan (Juni-September). Intensitas hujan yang tinggi pada bulan Januari dan Februari telah memicu terjadinya bencana longsorlahan di beberapa wilayah di Karanganyar. Curah hujan yang tinggi dapat memicu kejadian longsorlahan pada suatu daerah. Perkolasi dari air hujan akan mempercepat jenuhnya lapisan bawah yang berfungsi sebagai bidang gelincir, selanjutnya memicu kejadian longsorlahan.

Jenis tanah di wilayah Karanganyar didominasi oleh litosol, mediteran, andosol, grumusol, dan regosol. Tanah mediteran coklat bahan induknya tuff vulkan intermedier yang berkembang pada satuan perbukitan lipatan, solum tanahnya tebal 1-2 m, tekstur lempung hingga geluh berlempung, struktur gumpal dan konsistensi gembur hingga teguh, dan permeabilitas agak lambat hingga sedang. Tanah litosol dari bahan induk tuff, material vulkanik breksi batuan beku intrusi dengan struktur tanahnya remah hingga gumpal, konsistensinya gembur hingga agak teguh, dan tekstur tanahnya lempung. Pada dasarnya jenis tanah di Kabupaten Karanganyar dipengaruhi oleh aktifitas vulkanik, tanah ini tergolong tanah subur dan cocok untuk pertanian, kehutanan dan perkebunan. Sebaran jenis tanah ini di daerah lereng perbukitan dan pegunungan yang rawan longsorlahan. Pemotongan lereng untuk permukiman dan jalan di beberapa wilayah telah memicu terjadinya bencana longsorlahan di Kabupaten Karanganyar.

Berdasarkan hasil analisis peta lereng dapat dijelaskan bahwa daerah penelitian hanya 38,35 % dengan kemiringan datar – landai, sedangkan 65,65 % mempunyai lereng agak miring hingga sangat curam yang rawan kejadian longsorlahan. Kemiringan datar – landai di bagian barat dan utara daerah penelitian, ke arah timur dan selatan lereng semakin miring hingga sangat curam. Sebaran kemiringan lereng yang > 30% sebagian besar ada di Kecamatan Jatiyoso, Tawangmangu, Ngargoyoso, dan Jenawi,

sebagian ada di Kecamatan Jatipuro, Kerjo, Matesih, Jumapolo, dan Karangpandan. Lereng dengan kemiringan 15-30% sebagian besar menyebar di Kecamatan Tawangmangu, Karangpandan, Matesih, Jumantono, Jatipuro, dan Mojogedang. Lereng dengan kemiringan 8- 15% menyebar sebagian besar di Kecamatan Jumapolo, Karangpandan, Mojogedang, Karanganyar, Karangpandan, Jenawi, Kerjo, Ngargoyoso, dan Jumantono, sebagian ada di Kecamatan Jatiyoso, Kebakkramat, Tasikmadu, dan Tawangmangu. Adapun lereng dengan kemiringan < 8% menyebar sebagian besar di Kecamatan Jaten, Gondangrejo, Kebakkramat, Tasikmadu, Colomadu, Karanganyar, dan Mojogedang. Kejadian longsorlahan di wilayah Karanganyar 10 tahun terakhir ini terjadi pada lereng miring terjal hingga sangat terjal sebanyak 82 kejadian, dominan pada lereng Kelas III (58 kejadian) dan lereng Kelas IV (24 kejadian). Kejadian longsorlahan tersebar di 8 kecamatan, sebaran terbanyak di wilayah Kecamatan Tawangmangu (22), Ngargoyoso (17), Kerjo (13), Karangpandan (9), Matesih (8), Jatiyoso (7), Jumapolo (3), dan Jatipura (3).

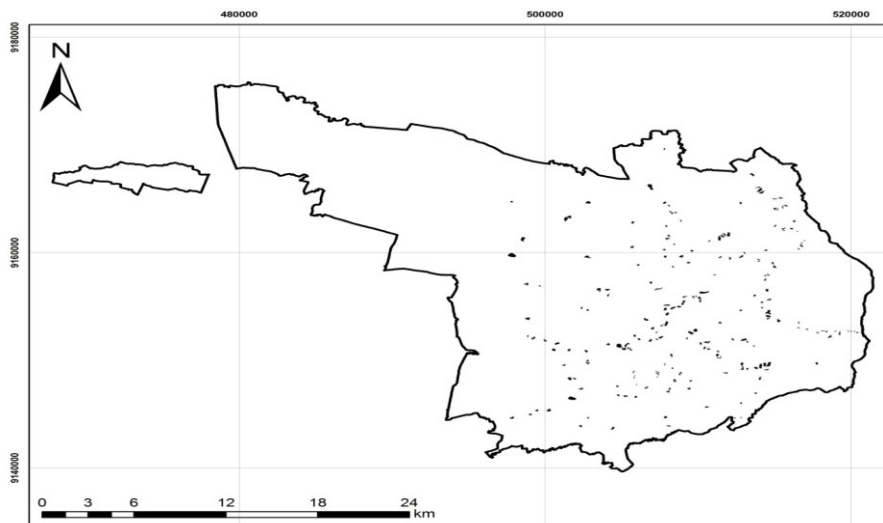
Bentuk penggunaan lahan yang terdapat di Kabupaten Karanganyar berupa permukiman seluas 20.669,43 ha. (26,7%), sawah seluas 22.868,21 ha (29,5%), tegalan seluas 17.378,63 ha (22,4%), hutan perkebunan 12.981,00 ha (16,8%), kolam 25,53 ha (1,2%) dan lain-lain seluas 2.647,91 ha (3,4%). Bentuk penggunaan lahan berpengaruh terhadap proses erosi dan longsorlahan yang dapat bersifat mempertinggi atau menekan frekuensi dan intensitas kejadian longsorlahan. Bentuk penggunaan lahan yang kurang sesuai dengan kemampuan lahan akan memicu laju proses erosi dan longsorlahan yang pada akhirnya membentuk lahan rusak. Kejadian bencana longsorlahan kebanyakan terjadi pada penggunaan lahan tegalan, sawah, dan permukiman.

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Ponorogo skala 1 : 100.000 (Puslitbang Geologi, 1997), batuan dasar daerah penelitian merupakan bagian dari

lahar Lawu, lava Sidoramping dan batuan gunungapi Lawu. Lahar lawu terdiri dari komponen andesit, basal, dan sedikit batuapung beragam ukuran dan bercampur dengan pasir gunungapi. Kondisi regional dengan batuan-batuan berumur Quarter yang tersusun oleh batuan vulkanik berupa breksi gunungapi dan tuf diperkirakan rentan bergerak, terutama yang terpotong oleh sesar dan telah mengalami pelapukan. Batuan yang rentan tersebut umumnya terdapat pada lereng dengan kemiringan mencapai lebih dari 20° hingga 60° , dengan kondisi stratigrafi yang khas yang menunjukkan salah satu ciri berikut: (a) tersusun oleh tumpukan tanah lempung atau lempung pasir hasil pelapukan breksi andesit, lava andesit atau tuf, yang mencapai ketebalan 2 m atau lebih, (b) tersusun oleh peralasan batuan/tanah yang miring ke arah luar lereng dan merupakan batuan yang retak-retak,

atau (c) merupakan bongkah-bongkah batuan dengan diameter mencapai 2 meter.

Kejadian longsorlahan di Kabupaten Karanganyar dalam penelitian ini didasarkan dari hasil survey lapangan dengan pengamatan setiap kejadian longsorlahan *existing* yang masih dapat diukur luasannya dan dipetakan dengan bantuan GPS. Selanjutnya hasil plotting GPS kejadian longsorlahan di Kabupaten Karanganyar disajikan dalam Gambar 2 berikut. Data longsorlahan *existing* yang kemudian diujikan pada variabel lereng, litologi, tanah, penggunaan lahan, dan curah hujan tahunan untuk mengevaluasi faktor apa yang paling dominan atau memprediksi kejadian longsorlahan di waktu yang akan datang. Prinsip geomorfologi yang digunakan adalah kejadian saat sekarang menjadi kunci kejadian di waktu yang lalu dan menjadi prediksi kejadian longsorlahan di masa mendatang.



Gambar 2. Peta Agihan Kejadian Longsorlahan di Kabupaten Karanganyar

Sebagaimana telah disebutkan dalam pendahuluan, bahwa dalam penelitian ini penilaian kerawanan longsorlahan dilakukan dengan Metode Statistik. Input data utama dalam penelitian ini adalah data longsorlahan *existing* yang kemudian diujikan pada beberapa variabel untuk mengevaluasi faktor-faktor yang paling dominan menyebabkan kejadian longsorlahan di waktu yang akan

datang. Terdapat 2 metode statistik yang sering dilakukan yaitu model statistik bivariat maupun model statistik multivariat (Alkema et al., 2005). Dalam statistik bivariat setiap faktor (lereng, geologi, tanah, penggunaan lahan, dan hujan) dikombinasikan dan dikalkulasikan dengan data distribusi kejadian longsorlahan, sehingga tampak faktor-faktor apa yang

memiliki bobot paling tinggi terhadap terjadinya longsorlahan. Multivariat analisis mengkombinasikan dan mengkalkulasikan antara variabel *dependent* (data kejadian longsorlahan) dengan variabel *independent* (Faktor yang mengkontrol longsorlahan). Kelerengan dihasilkan berdasarkan atas analisis kelerengan data kontur dengan interval 12, 5 m. Geologi diturunkan dari peta geologi lembar surakarta 1:100.000, tanah diturunkan dari peta tanah semi detil daerah penelitian, dan penggunaan lahan didapatkan dari data penggunaan lahan digital Badan Informasi Geospasial (BIG).

Rumus *hazard index method*:

$$W_i = \ln \left(\frac{\text{Densclas}}{\text{Densmap}} \right) = \ln \left(\frac{\frac{\text{Area}(S_i)}{\text{Area}(N_i)}}{\frac{\sum \text{Area}(S_i)}{\sum \text{Area}(N_i)}} \right)$$

dimana,

W_i = bobot diberikan kepada kelas parameter tertentu (misalnya jenis batuan, atau kelas lereng).

Densclas = kepadatan longsorlahan dalam kelas parameter.

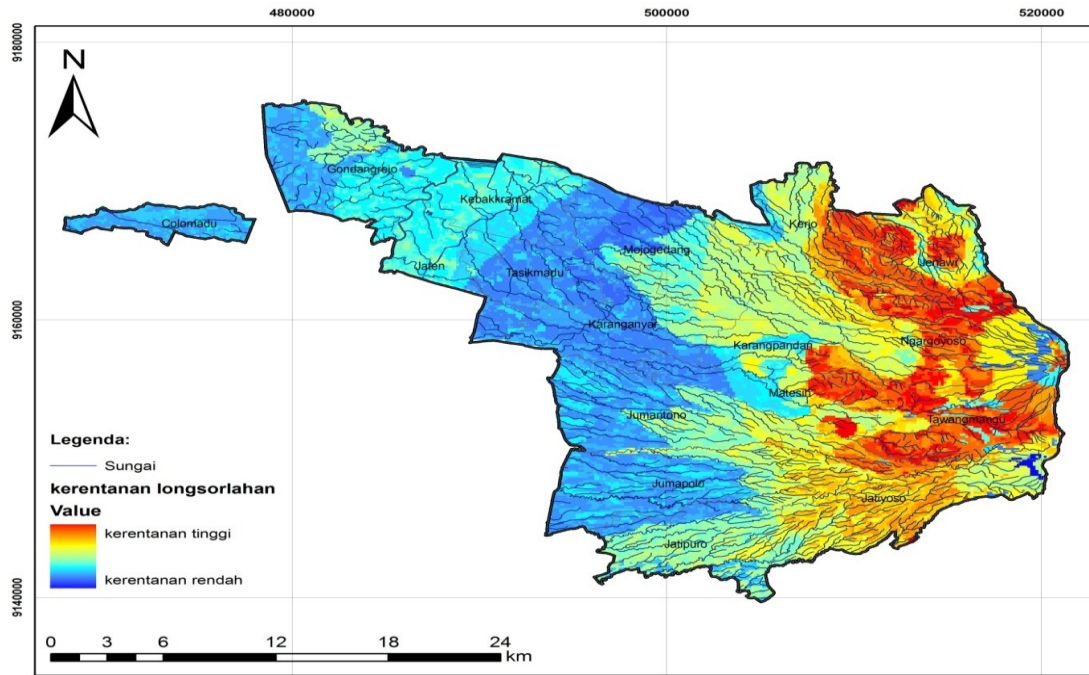
Densmap = kepadatan longsorlahan dalam seluruh peta.

Area (S_i) = luas daerah, yang mengandung longsorlahan, di kelas parameter tertentu.

Area (N_i) = total luas di kelas parameter tertentu.

Metode ini didasarkan pada peta overlay peta longsorlahan dengan peta parameter tertentu. Hasil peta overlay dalam tabel silang, yang dapat digunakan untuk menghitung kepadatan tanah longsorlahan per kelas parameter. Sebuah standarisasi nilai kerapatan tersebut dapat diperoleh dengan mengaitkannya dengan kepadatan keseluruhan di seluruh wilayah. Relasi dapat dilakukan dengan pembagian atau pengurangan. Dalam penelitian ini kepadatan longsorlahan per kelas dibagi dengan kepadatan longsorlahan di seluruh peta. Logaritma natural digunakan untuk memberikan bobot negatif ketika kepadatan longsorlahan lebih rendah dari normal, dan positif bila lebih tinggi dari biasanya, dengan menggabungkan dua atau lebih peta berat-nilai peta bahaya longsorlahan dapat dibuat. Peta bahaya longsorlahan diperoleh dari penilaian dengan hanya menambahkan berat-nilai yang terpisah.

Penilaian kerawanan longsorlahan menggunakan pendekatan statistik bivariat. Pada tahap ini semua variabel yang dianalisis akan diuji secara statistik terhadap data kejadian longsorlahan. Dengan demikian akan diketahui bobot pada masing-masing variabel, yang kemudian digunakan dalam proses *overlay* pada sistem informasi geografis dan dilanjutkan dengan tahap validasi dan verifikasi di lapangan. Hasil analisis kerawanan longsorlahan di Kabupaten Karanganyar disajikan dalam Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Peta Kerentanan Longsorlahan di Kabupaten Karanganyar

Berdasarkan klasifikasi longsorlahan oleh Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, ada 4 sistem klasifikasinya kerawanan longsorlahan, yaitu: Sangat Rendah, Rendah, Tinggi, dan Sangat Tinggi. Wilayah rawan longsorlahan sangat rendah berarti longsorlahan jarang terjadi atau hampir tidak pernah terjadi, kecuali pada tebing sungai. Biasanya wilayah yang tergolong rawan sangat rendah merupakan wilayah dataran atau relatif datar sampai landai (< 15%). Wilayah rawan rendah apabila kemungkinan terjadinya longsorlahan kecil, kecuali pada tebing sungai. Biasanya kondisi lereng pada wilayah rawan rendah relatif stabil, terjadinya longsorlahan karena adanya dampak kegiatan penduduk yang memotong lereng dan pembebanan lereng untuk permukiman dan kebun campuran. Wilayah rawan tinggi terjadinya

longsorlahan pada tebing sungai, lereng yang dipotong, dan peralihan litologi yang diawali oleh curah hujan dengan intensitas tinggi atau hujan normal yang berlangsung lama. Wilayah rawan longsorlahan sangat tinggi disebabkan kondisi lereng yang tidak stabil yang sewaktu-waktu dapat terjadi yang diawali intensitas curah hujan yang tinggi atau curah hujan normal yang berlangsung lama.

Berdasarkan analisis bivariat klas lereng dengan luasan dan frekuensi kejadian longsorlahan *existing* diperoleh bobot faktor pemicu kejadian longsorlahan di Kabupaten Karanganyar yang terbesar di Lereng Klas III (bobot 0,813), Lereng Kelas IV (bobot 0,232), dan pada Lereng Kelas II (bobot 0,200) dengan sebaran luas disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 4.9. Analisis Lereng dengan Kejadian Longsorlahan *Existing*

Slope	luas (ha)	active slide	dens class	dens map	weight
0-3	28.108,31	55,18	0,00196	0,00630	-1,165
3-8	23.343,64	179,57	0,00769	0,00630	0,200
8-15	15.009,66	213,05	0,01419	0,00630	0,813
15-30	6.890,00	54,70	0,00794	0,00630	0,232
>30	6.878,90	2,57	0,00037	0,00630	-2,824
	80.230,51	505,07			

Sumber: analisis data lereng dan kejadian longsorlahan existing

Bobot tertinggi pada lereng Klas Lereng III diperkirakan terjadinya konsentrasi air hujan yang masuk pada lereng tersebut relatif besar, sehingga penjujukan lapisan gilincir cepat yang menyebabkan terjadinya bencana longsorlahan. Fenomena yang sama terjadi di Banjarnegara (Kuswaji, 2007) dan Kulonprogo (Kuswaji, 2012), kejadian longsorlahan dominan terjadi pada peralihan lereng atas ke lereng bawah suatu perbukitan/pegunungan atau pada kelas lereng IV ke lereng kelas III.

Berdasarkan analisis bivariat kondisi litologi dengan luasan dan frekuensi kejadian longsorlahan *existing* diperoleh bobot factor pemicu kejadian longsorlahan di Kabupaten Karanganyar yang terbesar pada litologi Formasi Wonosari, batuan lahar Lawu, batuan breksi Jobolarangan, dan batuan lava Sidoramping. Sebaran nilai active slide, dens class, dan bobot parameter disajikan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Analisis Litologi dengan Kejadian Longsorlahan *Existing*

Lithology	luas (ha)	active slide	dens class	dens map	weight
Alluvial	4.249,35	0,00	0,00010	0,00630	0,000
Andesit	164,15	1,93	0,01176	0,00630	0,625
Batuan Gunungapi Lawu	11.884,37	199,90	0,01682	0,00630	0,983
Batuan Gunungapi tak terpisahkan	3.725,58	0,00	0,00010	0,00630	0,000
Breksi Jobolarangan	1.057,91	20,57	0,01944	0,00630	1,128
Endapan Lunak	1.442,74	0,00	0,00010	0,00630	0,000
Formasi Kabuh	920,76	0,00	0,00010	0,00630	0,000
Formasi Kalibeng	44,01	0,00	0,00010	0,00630	0,000
Formasi Notopuro	1.375,71	0,00	0,00010	0,00630	0,000
Formasi Pucangan	17,95	0,00	0,00010	0,00630	0,000
Formasi Wonosari	166,48	11,23	0,06746	0,00630	2,372
Lahar Lawu	48.561,17	205,96	0,00424	0,00630	-0,395
Lava Candradimuka	422,87	5,30	0,01253	0,00630	0,689
Lava Jobolarangan	3.485,43	20,56	0,00590	0,00630	-0,065
Lava Sidoramping	2.711,67	39,62	0,01461	0,00630	0,842
	80.230,15	505,07			

Sumber: analisis litologi dan kejadian longsorlahan existing

Hasil analisis bobot faktor yang memicu terjadi longsorlahan di atas menunjukkan bahwa kejadian longsorlahan di Kabupaten Karanganyar terjadi pada litologi batuan berumur Quarter dari batuan breksi gunungapi Lawu dan tuf yang telah mengalami pelapukan intensif dan terpotong oleh system sesar. Pada Formasi Wonosari dengan luasan sempit namun terdapat kejadian longsorlahan yang banyak, dikarenakan batuan kapur yang menyusunnya mempunyai system kekar dan

mudah lapuk yang bertumpu di atas batuan breksi dan andesit yang sejajar kemiringan lereng, sehingga rawan longsorlahan. Pada batuan breksi Jobolarangan dan batuan lava Sidoramping yang mempunyai struktur sesar dan kekar menyebabkan rawan longsorlahan.

Berdasarkan analisis bivariat macam tanah dengan luasan dan frekuensi kejadian longsorlahan *existing* diperoleh bobot faktor pemicu kejadian longsorlahan di Kabupaten Karanganyar yang terbesar pada macam tanah latosol coklat kemerahan, kompleks

andosol coklat kekuningan dan litosol, serta mediteran coklat. Ketiga macam tanah tersebut berbatuan induk batuan batuan lahar Lawu, batuan breksi Jobolarangan, dan batuan lava Sidoramping yang telah

mengalami lapuk lanjut, solum tanah tebal bertumpu di atas batuan impermeable, sehingga rawan kejadian longsorlahan. Hasil analisis bivariat ini disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Analisis Tanah dengan Kejadian Longsorlahan Existing

Tanah	luas (ha)	active slide	dens class	dens map	weight
Alluvial kelabu	1.147,38	0,00	0,00010	0,00630	0,000
Asosiasi Aluvial Kelabu dan Aluvial Coklat Kekelabuan	1.830,25	0,00	0,00010	0,00630	0,000
Asosiasi Grumusol Kelabu Tua dan Mediteran Coklat Kemerahan	3.267,86	0,00	0,00010	0,00630	0,000
Grumusol Kelabu Tua	600,48	0,00	0,00010	0,00630	0,000
Kompleks Andosol Coklat, Andosol Coklat Kekuningan dan Litosol	15.290,92	117,81	0,00770	0,00630	0,202
Latosol Coklat	15.811,71	90,97	0,00575	0,00630	-0,090
Latosol Coklat Kemerahan	24.482,04	199,86	0,00816	0,00630	0,260
Mediteran Coklat	13.564,34	96,43	0,00711	0,00630	0,122
Mediteran Coklat Kemerahan	588,57	0,00	0,00010	0,00630	0,000
Mediteran Coklat Tua	3.644,98	0,00	0,00010	0,00630	0,000
Regosol Kelabu	1,62	0,00	0,00010	0,00630	0,000
	80.230,15	505,07			

Sumber: analisis tanah dan kejadian longsorlahan existing

Berdasarkan analisis bivariat penggunaan lahan dengan luasan dan frekuensi kejadian longsorlahan *existing* diperoleh bobot factor pemicu kejadian longsorlahan di Kabupaten Karanganyar yang terbesar pada bentuklahan tanah ladang/tegalan dan kebun. Penggunaan lahan ladang/tegalan dan kebun dominan pada daerah perbukitan/pegunungan dengan kemiringan lereng lebih 15% yang rawan longsorlahan. Penggunaan lahan tersebut pada musim kemarau umumnya kering, sehingga tanah permukaan mudah retak-retak. Pada awal musim hujan dengan intensitas tinggi menyebabkan air hujan mudah masuk ke dalam zone batuan yang impermeable, sehingga menyebabkan

terjadinya bencana longsorlahan. Hasil analisis penggunaan lahan dengan kejadian longsorlahan Existing disajikan pada Tabel 6 berikut.

Berdasarkan analisis bivariat penggunaan lahan dengan luasan dan frekuensi kejadian longsorlahan *existing* diperoleh bobot factor pemicu kejadian longsorlahan di Kabupaten Karanganyar yang terbesar pada curah hujan sebesar 4.000- 5.000 mm dan 3.000- 3.500 mm. Keadaan curah hujan tersebut umumnya terjadi dalam waktu yang lama, sehingga memicu terjadinya longsorlahan. Hasil analisis bobot curah hujan terhadap kejadian longsorlahan di daerah penelitian disajikan pada Tabel 7 berikut:

Tabel 6. Analisis Penggunaan Lahan dengan Kejadian Longsorlahan *Existing*

Peng.Lahan	luas (ha)	active slide	dens class	dens map	weight
Air tawar	243,21	0,00	0,00010	0,00630	0,000
Belukar/Semak	4.624,28	31,44	0,00680	0,00630	0,077
Gedung	108,70	0,00	0,00010	0,00630	0,000
Hutan	3.879,50	8,85	0,00228	0,00630	-1,015
Kebun	8.111,91	78,20	0,00964	0,00630	0,426
Permukiman	21.186,95	133,64	0,00631	0,00630	0,002
Rumput	320,98	2,25	0,00701	0,00630	0,108
Sawah Irigasi	29.231,20	133,54	0,00457	0,00630	-0,321
Sawah Tadah Hujan	1.063,70	1,92	0,00181	0,00630	-1,249
Tanah berbatu	17,23	0,00	0,00010	0,00630	0,000
Tanah Ladang/ Tegalan	11.442,49	115,23	0,01007	0,00630	0,470
	80.230,15	505,07			

Sumber: analisis penggunaan lahan dan kejadian longsorlahan existing

Tabel 7. Analisis Hujan dengan Kejadian Longsorlahan *Existing*

Hujan	luas (ha)	active slide	dens class	dens map	weight
3000-3500	26.592,31	197,67	0,00743	0,00630	0,166
3500-4000	34.060,53	123,26	0,00362	0,00630	-0,554
4000-5000	19.577,31	184,14	0,00941	0,00630	0,402
	80.230,15	505,07			

Sumber: analisis hujan tahunan dan kejadian longsorlahan existing

Proses eksogen yang terjadi terutama disebabkan oleh kondisi iklim setempat baik input hujan maupun fluktuasi temperatur, kerja air dan gaya gravitasi. Proses eksogen yang terjadi antara lain adalah proses pelapukan, erosi, dan longsorlahan. Proses pelapukan yang khas terjadi pada batuan andesit yang tersingkap di beberapa lokasi di Kabupaten Karanganyar. Pelapukan tersebut mengakibatkan pengelupasan mengulit bawang (*speroidal weathering*) dengan inti dari batuan masih tampak segar. Keberadaan kekar-kekar minor yang banyak terdapat pada batuan andesit dengan arah tidak beraturan mengakibatkan batuan mudah lapuk dan fragmen batuan mudah lepas dari semen pengikatnya yang memicu terjadinya longsorlahan.

Faktor yang paling dominan dalam memicu terjadinya longsorlahan adalah

kondisi Klas Lereng III diperkirakan terjadinya konsentrasi air hujan yang masuk pada lereng tersebut relatif besar, sehingga penjujukan lapisan gilincir cepat yang menyebabkan terjadinya bencana longsorlahan. Litologi batuan berumur Quarter dari batuan breksi gunungapi Lawu dan tuf yang telah mengalami pelapukan intensif dan terpotong oleh system sesar merupakan pemicu berikutnya sebagai bahan yang mudah terlongsorlahankan. Macam tanah latosol coklat kemerahan, kompleks andosol coklat kekuningan dan litosol, serta mediteran coklat dengan batuan induk batuan batuan lahar Lawu, batuan breksi Jobolarangan, dan batuan lava Sidoramping yang telah mengalami lapuk lanjut, sehingga solum tanahnya tebal bertumpu di atas batuan impermeable memicu kejadian longsorlahan. Penggunaan lahan ladang/tegalan dan kebun dominan pada daerah perbukitan/pegunungan dengan

kemiringan lereng lebih 15% yang rawan longsorlahan menyebabkan pola retakan lahan permukaan yang memudahkan air hujan masuk dalam lapisan gelincir. Curah hujan sebesar 4.000- 5.000 mm dan 3.000-3.500 mm yang umumnya berlangsung dalam waktu yang lama, sehingga memicu terjadinya longsorlahan.

4. SIMPULAN

Kabupaten Karanganyar mempunyai tingkat kerawanan longsorlahan: Sangat Rendah, Rendah, Tinggi, dan Sangat Tinggi. Wilayah dengan kerawanan tinggi umumnya terjadi dipicu kondisi lereng yang dipotong, dan peralihan litologi yang diawali oleh curah hujan dengan intensitas tinggi atau hujan normal yang berlangsung lama.

Tingkat kerawanan longsorlahan tinggi tersebar di Kecamatan Tawangmangu, Margoyoso, Matesih, Karangpandan, dan Jatiyoso. Faktor yang paling dominan dalam memicu terjadinya longsorlahan adalah kondisi Klas Lereng III, Litologi batuan berumur Quarter dari batuan breksi gunungapi Lawu dan tuf yang telah mengalami pelapukan intensif dan terpotong oleh system sesar, Macam tanah latosol coklat kemerahan, kompleks andosol coklat kekuningan dan litosol, serta mediteran coklat dengan batuan induk batuan batuan lahar Lawu, batuan breksi Jobolarangan, dan batuan lava Sidoramping yang telah mengalami lapuk lanjut, Penggunaan lahan ladang/tegalan dan kebun dominan pada daerah perbukitan/pegunungan dengan kemiringan lereng lebih 15%, dan Curah hujan sebesar 4.000- 5.000 mm dan 3.000-3.500 mm yang umumnya berlangsung dalam waktu yang lama, sehingga memicu terjadinya longsorlahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Rektor UMS yang telah membiayai penelitian ini melalui Program Penelitian Hibah Doktor ini. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Bapak Agus Ulinuha, Ph.D selaku Ketua LPPM Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah membantu dalam

pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terimakasih atas kerjasamanya kepada segenap Tim Peneliti dan segenap mahasiswa yang telah bersama-sama saling membantu dalam pelaksanaan kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkema, Damen, Kerle, Lubyszynska, Kingma, Parodi, Rusmini, van Westen, dan Woldai. 2005. Hazard Assessment, C. van Westen (ed.). *Multi-hazard Risk Assessment*. UNU-ITC DGIM. Enschede The Netherlands.
- Arsyad, S., (1989). *Konservasi Tanah dan Air*. Institut Pertanian Bogor Press, Bogor.
- Bergur, S., Gislason, S., and Paton, G.I., 2008, Pedogenesis and Weathering Rates of a Histic Andosol in Iceland: Field and Experimental Soil Solution Study, *Geoderma* 144:572-592, www.elsevier.com/locate/geoderma.
- Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. 2005. *Manajemen Bencana Tanah Longsor*. <http://www.pikiran-rakyat.com/cetak/2005/0305/22/0802.htm>, diunduh 20/02/2013.
- Karnawati, D., 2005, *Bencana Alam Gerak Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Press.
- Kuswaji Dwi Priyono, 2006, Model Konservasi Lahan Pada Berbagai Tipe Longsoran di Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah. *Laporan Penelitian PHK-A2 Dirjen Dikti*, Surakarta: Fakultas Geografi UMS.
- Kuswaji Dwi Priyono, 2007, Morfometri dan Morfostruktur Lereng di Kecamatan Banjarnangu Kabupaten Banjarnegara, *Laporan Penelitian Dasar Dirjen Dikti*, Surakarta: LPPM-UMS.
- Kuswaji Dwi Priyono, 2008, Analisis Morfometri Lereng dan Morfo-struktur Batuan untuk Prevensi Bencana Longsor di Kecamatan Banjarnangu Kabupaten

- Banjarnegara, *Laporan Penelitian Reguler*, Surakarta: LPPM-UMS.
- Kuswaji Dwi Priyono, 2009, Hukum dan Bencana Alam: Studi tentang Model Manajemen Bencana Berbasis Komunitas, *Laporan Penelitian Hibah Kompetitif Dirjen Dikti*, Surakarta: LPPM-UMS.
- Kuswaji Dwi Priyono, 2010, Analisis Perencanaan Tata Ruang Daerah Rawan Bencana Longsorlahan di Kecamatan Matesih, Kabupaten Karanganyar Analisis Perencanaan Tata Ruang Daerah Rawan Bencana Longsorlahan di Kecamatan Matesih, Kabupaten Karanganyar, *Laporan Penelitian Kolaboratif*, Surakarta: Fakultas Geografi UMS.
- Kuswaji Dwi Priyono, 2012, Tipologi Pedogeomorfik Kejadian Longsorlahan di Pegunungan Menoreh, Kabupaten Kulonprogo, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia, *Desertasi Doktor*, Yogyakarta: Sekolah Pasca Sarjana UGM.
- Nugroho. 2012. Analyzing and Estimating Landslide Risk Impact To Road A Case Study in Samigaluh District, Kulon Progo Regency, Yogyakarta Province. *M.Sc. Thesis*. Double Degree Program Universitas Gadjah Mada and Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, University of Twente, Netherlands.
- Pusat Penanggulangan Krisis, 2007, *Analisis Kejadian Bencana di Indonesia Tahun 2007*, Jakarta: Departemen Kesehatan Republik Indonesia.
- Pusat Volkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 2005, Pengenalan Gerakan Tanah, <http://merapi.vsi.esdm.go.id/statistik/gerakantah/pengenalan.htm>, diakses 1 Desember 2007.
- Sutikno. 1997. *Penanggulangan Tanah Longsor*. Bahan Penyuluhan Bencana Alam Gerakan Tanah. Jakarta.
- Varnes, D.J. and IAEG, (1984). *Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice*. UNESCO, Darantiere, Paris, 61 pp.
- Van Westen. 2009. Risk Analysis. C, van Westen (ed.), *Multi-hazard Risk Assessment*. UNU-ITC DGIM. Enschede The Netherlands