

MODEL KERENTANAN GERAKAN TANAH WILAYAH KABUPATEN SUKABUMI SECARA SPASIAL DAN TEMPORAL

Spatial and Temporal Model of Landslide Susceptibility for Sukabumi Regency

Khori Sugianti, Sukristiyanti, Adrin Tohari

Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI

ABSTRAK Prediksi bahaya gerakan tanah secara spasial dan temporal diperlukan untuk mitigasi bencana gerakan tanah. Makalah ini bertujuan untuk menyajikan hasil pemodelan tingkat kerentanan gerakan tanah dengan mempertimbangkan karakteristik lereng dan kekuatan tanah secara spasial dan curah hujan harian secara temporal di wilayah Kabupaten Sukabumi. Pemodelan menggunakan perangkat lunak TRIGRS untuk menghitung faktor keamanan lereng berbasis grid dengan ukuran 100 m x 100 m akibat infiltrasi air hujan. Hasil pemodelan menunjukkan tingkat kerentanan gerakan tanah spasial di Kabupaten Sukabumi dipengaruhi oleh topografi dan karakteristik keteknikan tanah. Sementara itu, curah hujan kumulatif menjadi faktor pengontrol penyebab perubahan tingkat kerentanan gerakan tanah temporal. Berdasarkan nilai faktor keamanan lereng, daerah dengan kerentanan gerakan tanah tinggi tersebar di Kecamatan Pelabuhan Ratu, Cikidang, Cisolok, Kabandungan, Parakan Salak, Nagrak, Cibadak, Gegerbitung, Nyalindung, Ciracap, dan Warung Kiara. Tingkat kerentanan ini bersesuaian dengan lokasi-lokasi gerakan tanah yang terjadi di daerah-daerah tersebut.

Dengan demikian, pemodelan kerentanan gerakan tanah ini dapat digunakan untuk membantu dalam memprediksi gerakan tanah secara spasial dan temporal.

Kata Kunci: faktor keamanan lereng, gerakan tanah, infiltrasi air hujan, pemodelan kerentanan.

ABSTRACT *Spatial and temporal prediction of landslide hazard is required for hazard mitigation. This paper aims to present the results of areal slope stability modeling in Sukabumi Regency, considering the spatial characteristics of the slope and soil properties and temporal variation of rainfall. The modeling uses TRIGRS software to calculate the grid based slope safety factor with a size of 100 m x 100 m due to the infiltration of rainwater. Results of modeling show that landslide vulnerability of Sukabumi Regency is significantly influenced by topography and soil engineering characteristics. Meanwhile, the variation of rainfall intensity is the causative factor of temporal variation of landslide vulnerability. Based on the safety factor-based zonation, high vulnerability zone is located in the District of Pelabuhan Ratu, Cikidang, Cisolok, Kabandungan, Parakan Salak, Nagrak, Cibadak, Gegerbitung, Nyalindung, Ciracap and Warung Kiara. Many previous landslides occurred in this susceptibility zone. Thus, this landslide susceptibility modelling may apply to a spatial mapping and temporal prediction of landslide hazard.*

Keywords: *Slope safety factor, landslide, rainfall infiltration, susceptibility modeling.*

PENDAHULUAN

Gerakan tanah merupakan salah satu bahaya geologi yang sering terjadi saat musim hujan dan menimbulkan korban jiwa serta kerugian ekonomi hampir di seluruh wilayah perbukitan di

Naskah masuk : 20 Januari 2016
Naskah direvisi : 17 Februari 2016
Naskah diterima : 24 November 2016

Khori Sugianti
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Kompleks LIPI Gd. 70, Jl Sangkuriang Bandung 40135
Email : khorisugianti@gmail.com

Indonesia, terutama di Pulau Jawa. Berdasarkan data BNPB (2015), kejadian bencana gerakan tanah banyak terjadi di Provinsi Jawa Barat. Kerentanan gerakan tanah wilayah perbukitan di Pulau Jawa dikontrol oleh kondisi geologi, topografi, curah hujan dan tutupan lahan setempat. Kabupaten Sukabumi merupakan salah satu wilayah rentan gerakan tanah di provinsi ini. Berdasarkan data dan informasi bencana Indonesia BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana) tahun 2000-2015, kejadian gerakan tanah di Kabupaten Sukabumi, tercatat sekitar 106 kejadian dengan korban jiwa sebanyak 45 orang, yaitu 32 meninggal, 6 hilang, 7 luka (BNPB, 2015). Dalam rangka mengurangi risiko bencana gerakan tanah, maka upaya mitigasi dan kesiapsiagaan terhadap ancaman gerakan tanah sangat diperlukan di wilayah Kabupaten Sukabumi.

Pemetaan kerentanan gerakan tanah merupakan salah satu upaya memprediksi kejadian gerakan tanah untuk kesiapsiagaan terhadap ancaman gerakan tanah. Model kerentanan gerakan tanah harus dapat memberikan informasi kapan dan dimana gerakan tanah akan terjadi di suatu wilayah perbukitan. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) pada tahun 2004 telah membuat Peta Kerentanan Gerakan Tanah wilayah Sukabumi menggunakan pendekatan pembobotan berbasis sistem informasi kebumihutan (PVMBG, 2004). Peta tersebut mengklasifikasi tingkat kerentanan gerakan tanah wilayah Sukabumi menjadi empat kelas yaitu sangat rendah, rendah, menengah, dan tinggi. Akan tetapi, model kerentanan tanah tersebut hanya memberikan informasi variasi kerentanan gerakan tanah secara spasial saja, tetapi tidak secara temporal.

Pemetaan kerentanan gerakan tanah regional akibat curah hujan dengan menggunakan pemodelan gerakan tanah secara deterministik dan empirik telah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu. *Transient Rainfall Infiltration and Grid Based Regional Slope Stability* atau yang disingkat TRIGRS (Baum *et al.*, 2002; 2008) merupakan salah satu model kestabilan lereng yang banyak dipergunakan untuk memetakan kerentanan gerakan tanah dangkal (Godt *et al.*, 2008; Salciarini *et al.*, 2006; Tan *et al.*, 2008). Selain itu, beberapa peneliti juga menggunakan model TRIGRS untuk mengetahui kemampuan memprediksi gerakan tanah di suatu perbukitan,

dan pengaruh parameter topografi, geoteknik dan hidrologi terhadap inisiasi gerakan tanah. Kemampuan model TRIGRS untuk memprediksi gerakan tanah dangkal akibat hujan dipengaruhi oleh resolusi variasi curah hujan temporal (Chen *et al.*, 2005; Liao *et al.*, 2011), resolusi parameter geoteknik secara spasial (Liao *et al.*, 2011; Park *et al.*, 2013) dan resolusi model elevasi digital (Park *et al.*, 2013). Dengan demikian, prediksi gerakan tanah berdasarkan pemetaan kerentanan memerlukan resolusi data curah hujan temporal, parameter topografi, dan geoteknik spasial yang akurat.

Di Indonesia, Sarah *et al.* (2015) menggunakan pendekatan model TRIGRS untuk mengkaji kestabilan lereng regional di wilayah Kecamatan Tawangmangu. Hasil pemodelan menunjukkan kesesuaian yang tinggi antara zona kerentanan gerakan tanah dan lokasi bencana gerakan tanah, sehingga model kerentanan tersebut dapat digunakan untuk memprediksi potensi gerakan tanah di wilayah ini. Sugianti *et al.* (2014) juga mengklasifikasi tingkat kerentanan gerakan tanah daerah Sumedang Selatan dengan menggunakan metode Storie. Parameter karakteristik fisik berupa tataguna lahan, kelerengan, geologi dan curah hujan. Hasil analisis klasifikasinya menunjukkan bahwa tingkat kerentanan dipengaruhi oleh tataguna lahan, kemiringan, jenis tanah penyusun, dan curah hujan sebagai faktor pemicu.

Makalah ini bertujuan untuk menyajikan hasil pemodelan kerentanan gerakan tanah menggunakan aplikasi TRIGRS, untuk wilayah Kabupaten Sukabumi, dengan mempertimbangkan variasi karakteristik lereng dan kekuatan tanah secara spasial dan curah hujan secara temporal pada bulan basah. Adapun sasaran makalah ini yaitu untuk mengetahui (1) hubungan antara keteknikan tanah dengan kejadian gerakan tanah dan, (2) mengevaluasi pengaruh curah hujan terhadap perubahan tingkat kerentanan gerakan tanah di lokasi penelitian. Hasil pemodelan kerentanan gerakan tanah yang disajikan dalam makalah ini merupakan bagian dari penelitian tentang pengaruh perubahan iklim terhadap kerentanan gerakan tanah di wilayah Sukabumi, dengan menggunakan data dasar curah hujan harian pada bulan-bulan basah di tahun 1990 (Tohari dan Santoso, 2015).

LOKASI PENELITIAN

Secara geografis daerah penelitian terletak di Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat tepatnya berada di antara koordinat $106^{\circ} 21' 35'' - 107^{\circ} 19' 30''$ BT dan $7^{\circ} 27' 46'' - 6^{\circ} 42' 20''$ LS (Gambar 1). Kabupaten Sukabumi berjarak 120 m dari Kota Bandung. Sebagian besar wilayah Kabupaten Sukabumi berupa perbukitan, kecuali di sebagian pantai selatan berupa dataran rendah.

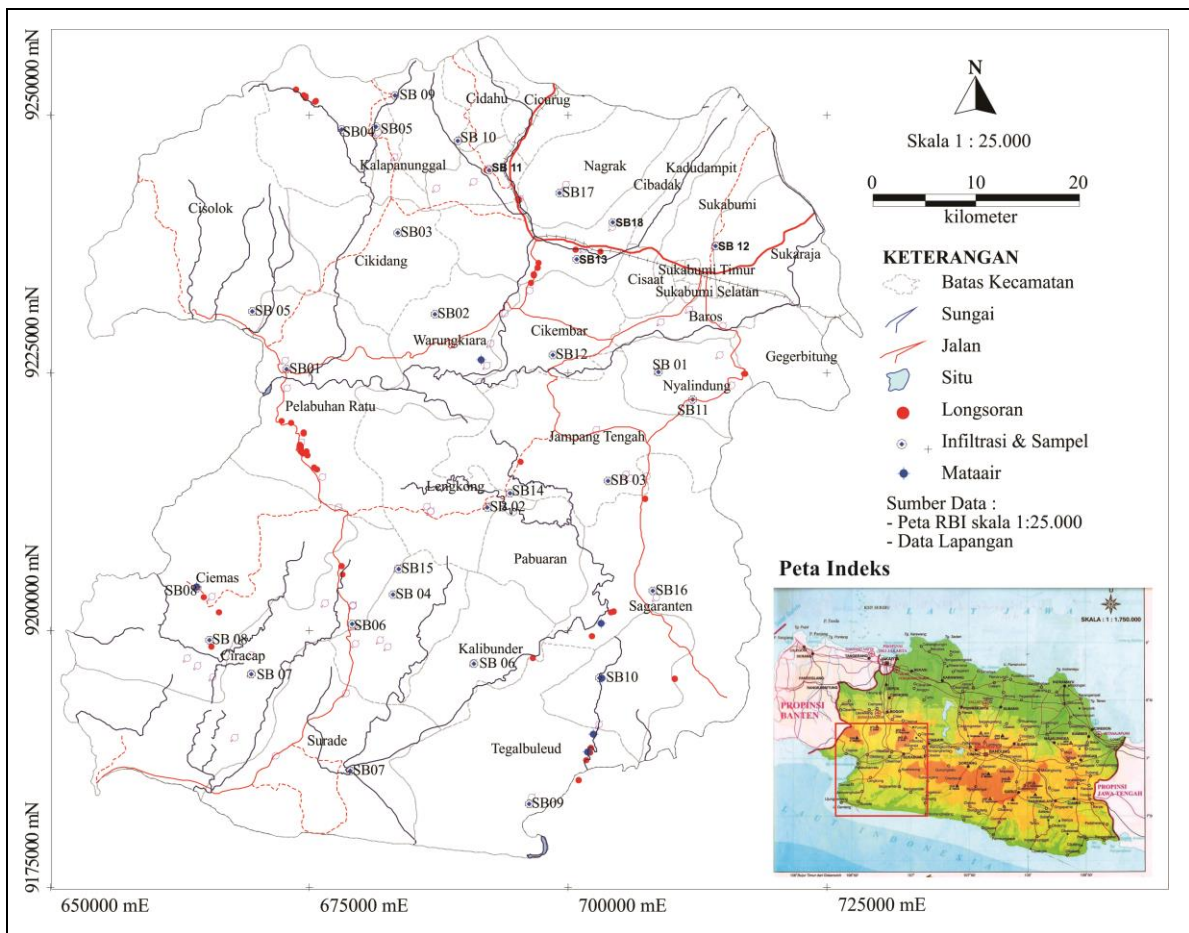
Menurut Sukanto (1975) dan Effendi dan Hermanto (1998), batuan penyusun di wilayah Kabupaten Sukabumi didominasi oleh material vulkanik berupa breksi, lava, lahar, dan tufa, yang berasosiasi dengan letusan (erupsi) gunungapi berumur Kuartar. Sementara itu endapan aluvium dan endapan sedimen pantai terakumulasi di bagian selatan wilayah Sukabumi.

METODE

Data Pemodelan

Pemodelan kerentanan gerakan tanah berdasarkan TRIGRS (Baum *et al.*, 2002) memerlukan data *raster* berupa ketinggian dan kemiringan lereng, karakteristik keteknikan dan hidrologi lereng. Untuk Kabupaten Sukabumi, data *raster* ketinggian, kemiringan dan aspek arah lereng diperoleh dari citra SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) resolusi spasial 90 m. Aplikasi ArcGIS 9.1 digunakan untuk menciptakan sel berukuran 100 m x 100 m dan untuk mengkuantifikasi informasi di atas untuk setiap sel.

Menggunakan conto-conto tanah tak terganggu yang mewakili setiap jenis litologi, nilai berat isi tanah (γ_w) diperoleh berdasarkan standard ASTM D 297-76, nilai parameter keteknikan tanah,



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

berupa kohesi efektif (c') dan sudut geser efektif (ϕ') diperoleh berdasarkan uji triaksial kondisi termampatkan-tak teralirkan berdasarkan ASTM D4767M dan nilai permeabilitas (K_s) diperoleh dari hasil uji *falling head permeameter* menurut ASTM D585.

Curah hujan merupakan faktor penting dalam model TRIGRS. Data spasial dan temporal curah hujan harian diperoleh dari 12 stasiun curah hujan yang terletak di wilayah Kabupaten Sukabumi (Tohari dkk, 2011). Data curah hujan ini kemudian diolah menggunakan software ArcGIS untuk menghasilkan peta isohyet.

Pemodelan Kerentanan

Tahap awal dari pemodelan TRIGRS adalah melakukan analisis data topografi berupa data ketinggian dan arah lereng dengan menggunakan program TopoIndex (Baum, 2002), untuk menghasilkan perhitungan rute aliran permukaan (*run-off routing*) yang digunakan dalam pemodelan kestabilan lereng.

Dalam pemodelan kestabilan lereng akibat curah hujan spasial dan temporal menggunakan program TRIGRS 2.0, model infiltrasi air hujan berdasarkan pada solusi linear Iverson (2000) dan ekstensi dari persamaan Richard oleh Baum *et al.* (2002). Solusi untuk tekanan air pori *transient* diberikan oleh persamaan rumus 1 (Baum *et al.*, 2002).

dimana Z adalah arah koordinat normal terhadap lereng, α adalah kemiringan lereng, d adalah kedalaman muka airtanah kondisi awal yang diukur dalam arah Z , $\beta = \lambda \cos \alpha$, dimana $\lambda = \cos \alpha - [I_z / K_z]$, K_z adalah koefisien permeabilitas dalam arah Z , I_z adalah *flux* permukaan pada kondisi awal, dan I_{nz} adalah *flux* permukaan pada intensitas tertentu untuk interval waktu ke- n . Subscript LT menyatakan term panjang, $D_1 = D_0 \cos^2 \alpha$ dimana D_0 adalah diffusivitas hidrolik kondisi jenuh air, N adalah jumlah total interval, dan $H(t-t_n)$ adalah *Heavyside step function*.

$$\psi(Z,t) = [Z-d]\beta + 2 \sum_{n=1}^N \frac{I_{nz}}{K_z} H(t-t_n) [D_1(t-t_n)]^{\frac{1}{2}} \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ ierfc \left[\frac{(2m-1)d_{Lz} - (d_{Lz} - Z)}{2[D_1(t-t_n)]^{\frac{1}{2}}} \right] + ierfc \left[\frac{(2m-1)d_{Lz} + (d_{Lz} - Z)}{2[D_1(t-t_n)]^{\frac{1}{2}}} \right] \right\} - 2 \sum_{n=1}^N \frac{I_{nz}}{K_z} H(t-t_n) [D_1(t-t_n)]^{\frac{1}{2}} \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ ierfc \left[\frac{(2m-1)d_{Lz} - (d_{Lz} - Z)}{2[D_1(t-t_n)]^{\frac{1}{2}}} \right] + ierfc \left[\frac{(2m-1)d_{Lz} + (d_{Lz} - Z)}{2[D_1(t-t_n)]^{\frac{1}{2}}} \right] \right\} \dots\dots\dots(1)$$

Persamaan faktor keamanan lereng menerus yang homogen (FK) yang digunakan dalam pemodelan TRIGRS adalah sebagai berikut:

$$FK = \frac{\tan \phi'}{\tan \theta} + \frac{c' - \psi(Z,t)\gamma_w \tan \phi'}{\gamma_s Z \sin \theta \cos \theta} \dots\dots\dots(2)$$

dimana, c' adalah kohesi efektif, Z adalah ketebalan tanah, ψ adalah tekanan air tanah transient, t adalah waktu, θ adalah sudut bidang gelincir, ϕ' adalah sudut geser efektif, γ_w adalah berat isi air dan γ_s adalah berat isi tanah.

Zonasi Kerentanan Gerakan Tanah

Zonasi kerentanan gerakan tanah menggunakan klasifikasikan menurut Ward (1976), yang berdasarkan nilai faktor keamanan (FK) lereng, sebagaimana disajikan pada Tabel 1. Hal ini karena belum ditemukan hasil penelitian terdahulu lainnya yang khusus menghasilkan klasifikasi zona kerentanan gerakan tanah berdasarkan nilai FK lereng hingga saat ini.

Tabel 1. Klasifikasi kerentanan gerakan tanah (Ward, 1976).

Faktor keamanan (FK)	Kerentanan gerakan tanah
$FK > 2.0$	Kerentanan sangat rendah
$2.0 > FK > 1.7$	Kerentanan rendah
$1.7 > FK > 1.2$	Kerentanan menengah
$FK < 1.2$	Kerentanan tinggi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan data menyajikan beberapa parameter pemodelan dalam bentuk peta-peta *raster* tematik antara lain DEM (*Digital Elevation Model*), peta derajat kemiringan lereng, nilai berat isi, permeabilitas, nilai kohesi, sudut geser tanah, dan hujan wilayah.

DEM dan Kemiringan Lereng

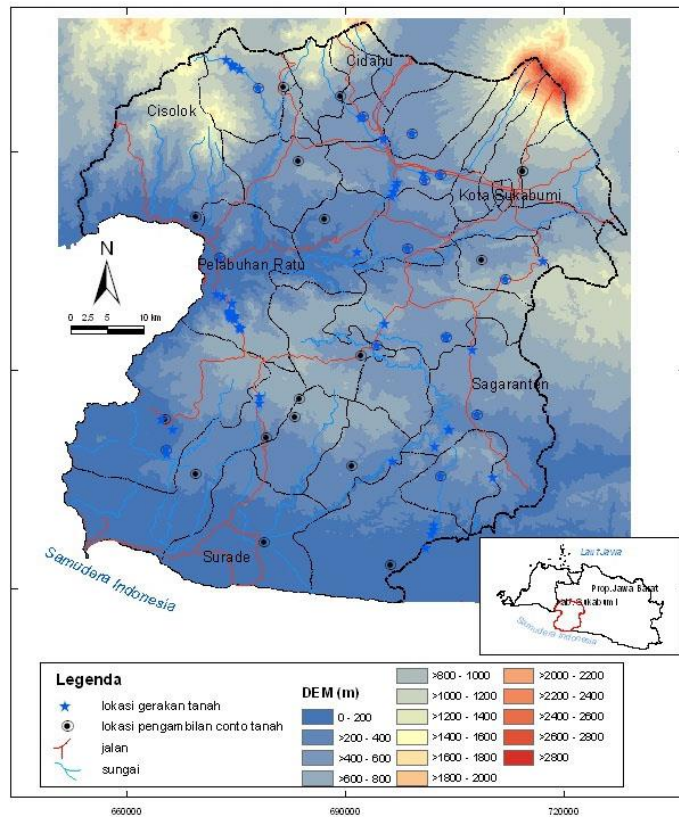
Pengolahan data topografi menghasilkan peta-peta *raster* tematik antara lain DEM dan peta kemiringan lereng wilayah Kabupaten Sukabumi (Gambar 2 dan 3). Berdasarkan gambar-gambar tersebut menurut Van Zuidam, 1983, wilayah Kabupaten Sukabumi memiliki morfologi berelief halus hingga sangat kasar dengan kemiringan lereng datar hingga sangat terjal (Tabel 2). Pada bagian selatan daerah penelitian didominasi perbukitan berelief sedang hingga sangat kasar dan bagian utara didominasi oleh datar rendah hingga sedang.

Kejadian gerakan tanah lebih banyak terdapat di wilayah Kecamatan Pelabuhan Ratu, Cidolog,

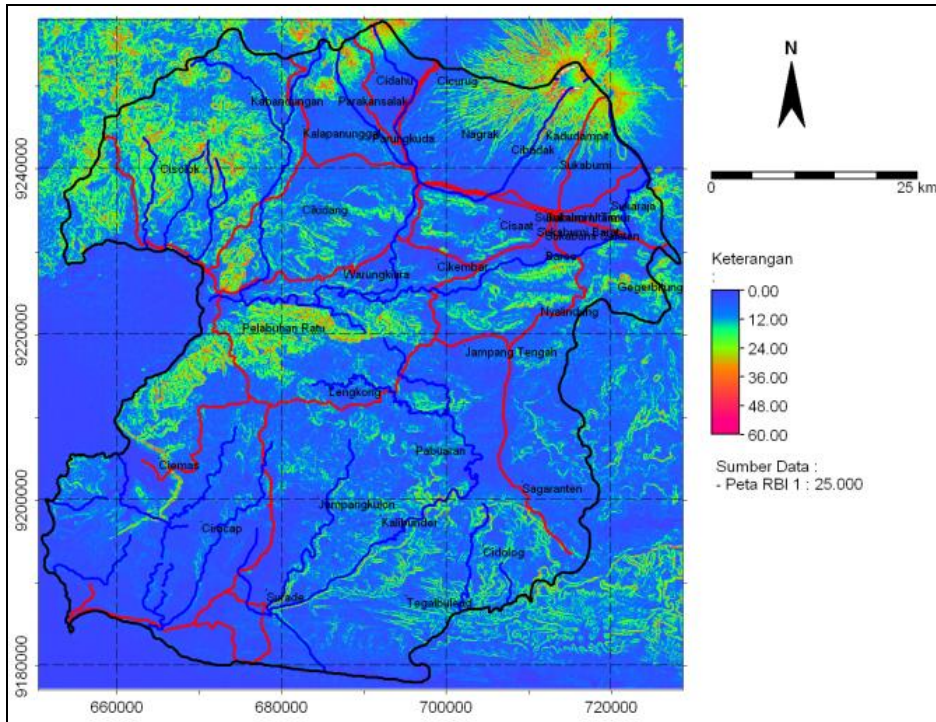
Sagaranten, Tegalbuleud, dan Cibadak. Kelima lokasi tersebut didominasi oleh morfologi berelief sedang hingga kasar dengan kemiringan lereng sedang hingga terjal serta memiliki arah aliran lereng barat daya, selatan, dan tenggara (Gambar 4).

Tabel 2. Klasifikasi Kemiringan Lereng berdasarkan Van Zuidam, 1983.

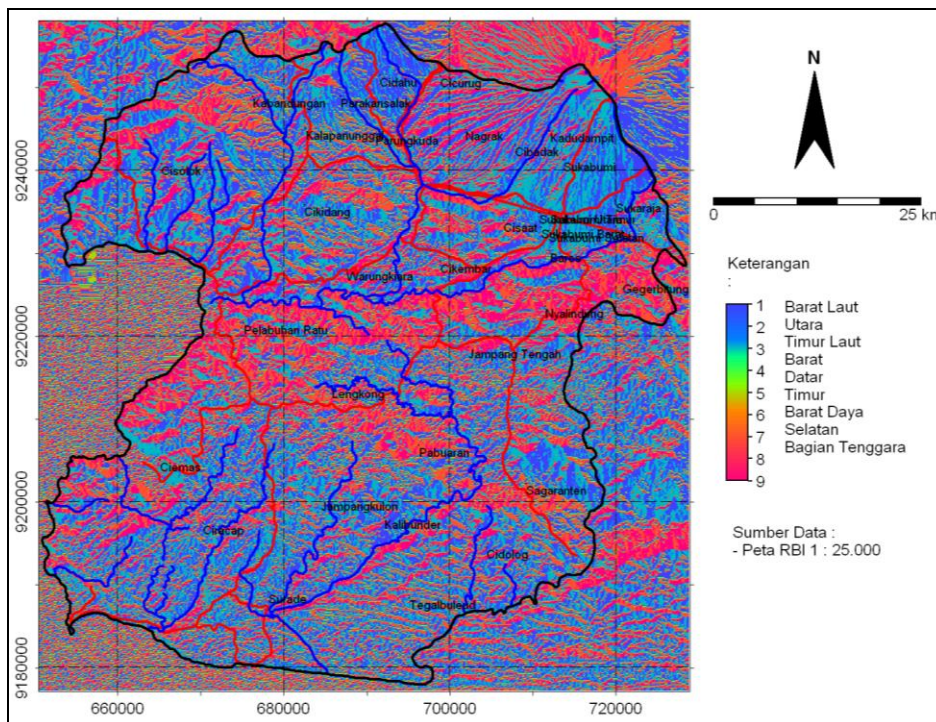
Kemiringan (%)	Kelas lereng	Satuan morfologi
0 – 8	Datar	Dataran
> 8 – 15	Landai	Perbukitan berelief halus
>15 – 25	Agak Curam	Perbukitan berelief sedang
> 25 – 45	Curam	Perbukitan berelief kasar
> 45	Sangat Curam	Perbukitan berelief sangat kasar



Gambar 2. Peta *raster* tematik model ketinggian digital (DEM) Kabupaten Sukabumi



Gambar 3. Peta kemiringan lereng wilayah Kabupaten Sukabumi.



Gambar 4. Peta arah aliran lereng wilayah Kabupaten Sukabumi

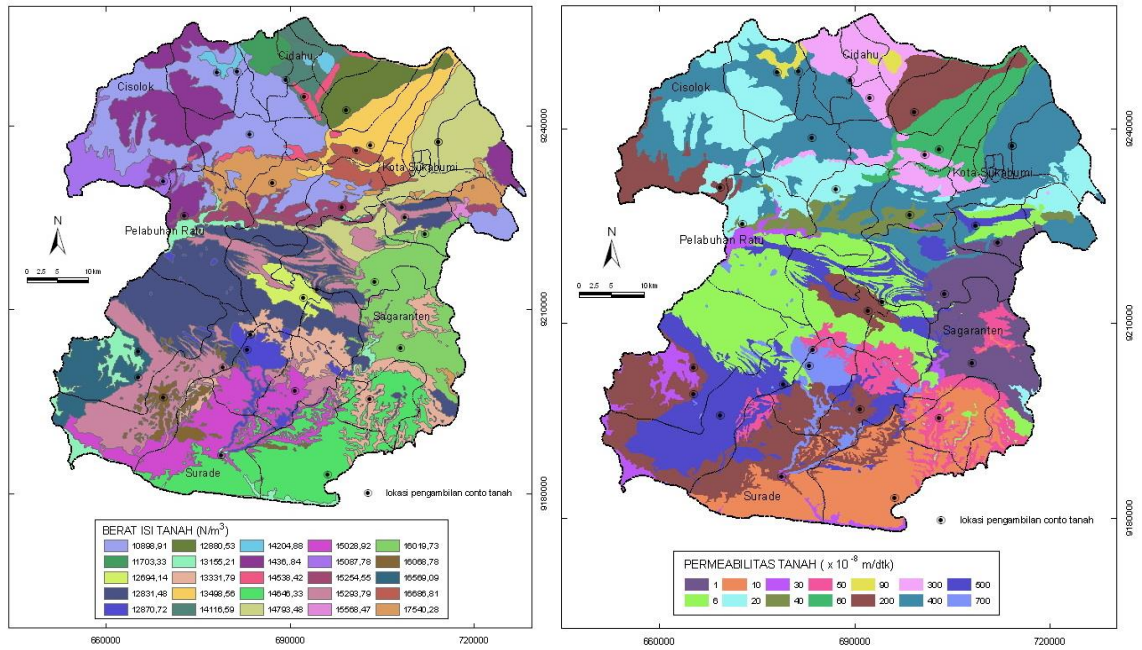
Karakteristik Keteknikan Tanah

Data peta *raster* karakter keteknikan tanah didasarkan dari beberapa conto tanah yang

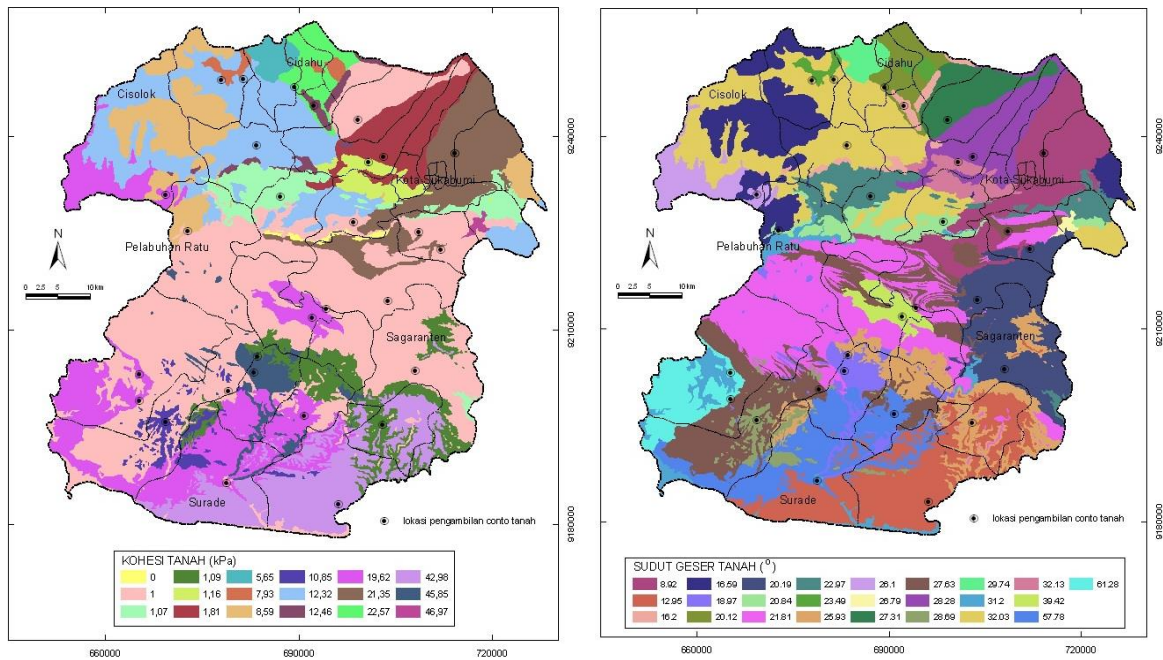
dikorelasikan dengan distribusi satuan litologi dalam formasi pada peta geologi daerah Kabupaten Sukabumi. Hasil analisis sifat keteknikan sampel tanah disajikan dalam bentuk

peta *raster* karakteristik tanah yaitu nilai berat isi, permeabilitas, nilai kohesi, dan sudut geser tanah. Gambar 5 dan 6 menunjukkan bahwa Kabupaten Sukabumi mempunyai karakteristik tanah yang beragam. Nilai berat jenis tanah berkisar antara $10,9 \text{ kN/m}^3$ dan $17,5 \text{ kN/m}^3$. Nilai koefisien permeabilitas tanah sebesar $1,058 \times 10^{-8}$ sampai

$5 \times 10^{-6} \text{ m/det}$, sedangkan variasi nilai kohesi adalah antara 0 hingga 46,97 kPa, dan sudut geser tanah antara $12,59^\circ$ hingga $41,53^\circ$. Variasi nilai parameter keteknikan tanah ini dapat mengindikasikan perbedaan tingkat kerentanan lereng terhadap gerakan tanah di wilayah Kabupaten Sukabumi.



Gambar 5. Peta *raster* berat isi dan permeabilitas tanah.



Gambar 6. Peta *raster* nilai kohesi tanah dan sudut geser tanah

Tabel 3 menyajikan ringkasan nilai parameter tanah berdasarkan perbedaan kerentanan gerakan tanah. Daerah rentan gerakan tanah cenderung memiliki nilai parameter keteknikan tanah yang lebih kecil dibandingkan dengan daerah yang tidak rentan gerakan tanah. Litologi penyusun daerah rentan gerakan tanah didominasi oleh hasil lapukan gunung api berupa kerikil, pasir, dan lanau. Hal ini menyebabkan tanah lapukannya lebih banyak fraksi pasir sehingga kuat gesernya lebih didominasi oleh parameter sudut geser dan nilai koefisien permeabilitasnya menjadi lebih besar, dibandingkan dengan lapisan tanah di daerah yang tidak rentan kejadian gerakan tanah litologi penyusun terdiri dari batuan vulkanik berupa breksi, lava, dan lahar.

Curah Hujan

Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, pemodelan ini menggunakan data hujan harian yang terkumpul dalam rentang waktu periode bulan basah mulai bulan Januari hingga Juni tahun 1990 (Tohari dkk, 2011). Berdasarkan hasil studi dampak perubahan iklim di wilayah Kab. Sukabumi oleh Tohari dan Santoso (2015), perubahan curah hujan akan sangat bervariasi, dengan peningkatan mencapai $\pm 20\%$ pada bulan-bulan basah di tahun 2080, sedangkan kenaikan curah hujan harian pada tahun 2020 relatif sangat kecil ($< \pm 5\%$). Dengan demikian, variasi hujan harian dapat dipertimbangkan sangat kecil antara tahun 1990 hingga 2016. Hal ini diperkuat oleh hasil penelitian Narulita dkk (2010) di wilayah pengaliran sungai Ciliwung- Cisadane yang menunjukkan bahwa variabilitas curah hujan pada periode 1997 hingga 2006 cenderung tetap.

Curah hujan yang digunakan dalam pemodelan ini berdasarkan data curah hujan harian dari 4

stasiun curah hujan di wilayah Sukabumi (stasiun Bojong Lopang, Surade, Cijambe, dan Jampang Kulon). Pada bulan Januari dan Februari, curah hujan harian maksimum terjadi di daerah bagian utara dan timur laut. Curah hujan maksimum di bulan Maret dan April cenderung terjadi di daerah bagian timur laut, sedangkan pada bulan Mei dan Juni terjadi di daerah bagian tenggara dan barat. Curah hujan tertinggi dengan intensitas hujan 120 mm/hari terjadi pada bulan Mei di wilayah bagian barat.

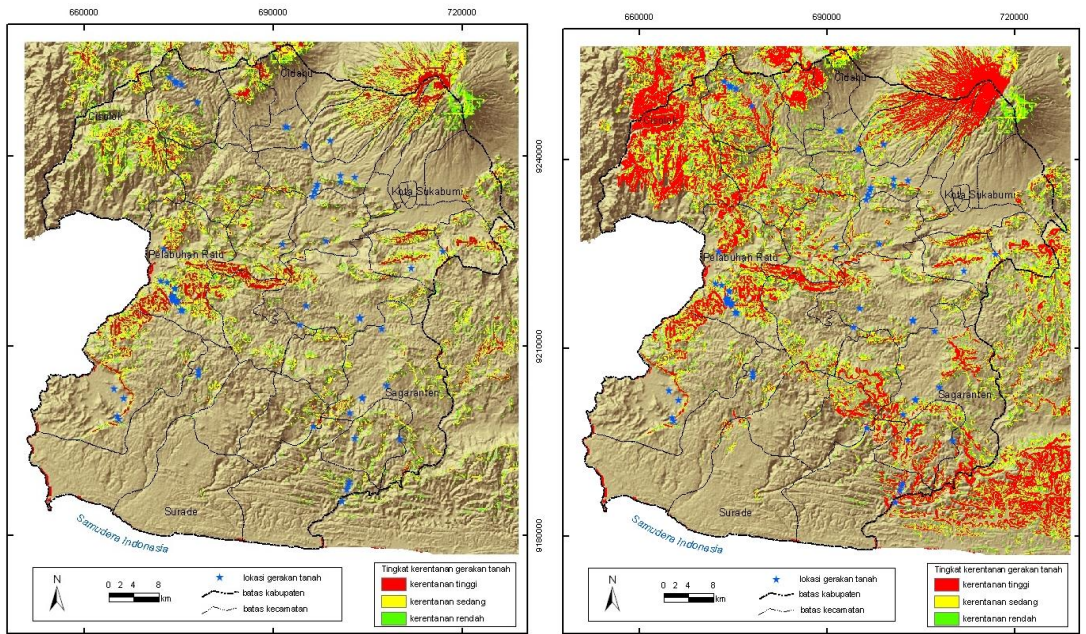
Konsentrasi sebaran kejadian gerakan tanah yang tinggi di Kecamatan Cibadak didominasi memiliki curah hujan dengan intensitas lebih dari 70 mm/hari. Sedangkan kejadian gerakan tanah di wilayah Kecamatan Pelabuhan Ratu dan Tegalbuleud cenderung berasosiasi dengan curah hujan dengan intensitas sedang.

Zonasi Kerentanan Gerakan Tanah

Hasil pemodelan kestabilan lereng spasial akibat curah hujan harian pada bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei dan Juni di wilayah Kabupaten Sukabumi menghasilkan peta tingkat kerentanan gerakan tanah dengan menggunakan klasifikasi kerentanan menurut Ward (1976). Gambar 7 hingga Gambar 9 menyajikan beberapa peta kerentanan gerakan tanah secara spasial pada setiap akhir bulan basah dari bulan Januari hingga bulan Juni. Berdasarkan Gambar 7 (a), zona kerentanan gerakan tanah tinggi terdapat di Kecamatan Pelabuhan Ratu, Cisolok dan Kadudampit terutama di wilayah lereng yang curam pada ketinggian lebih dari 800 m. Hal ini mengindikasikan bahwa kemiringan lereng menjadi faktor pengontrol kerentanan gerakan tanah di wilayah perbukitan di Kabupaten Sukabumi.

Tabel 3. Perbandingan nilai parameter keteknikan tanah.

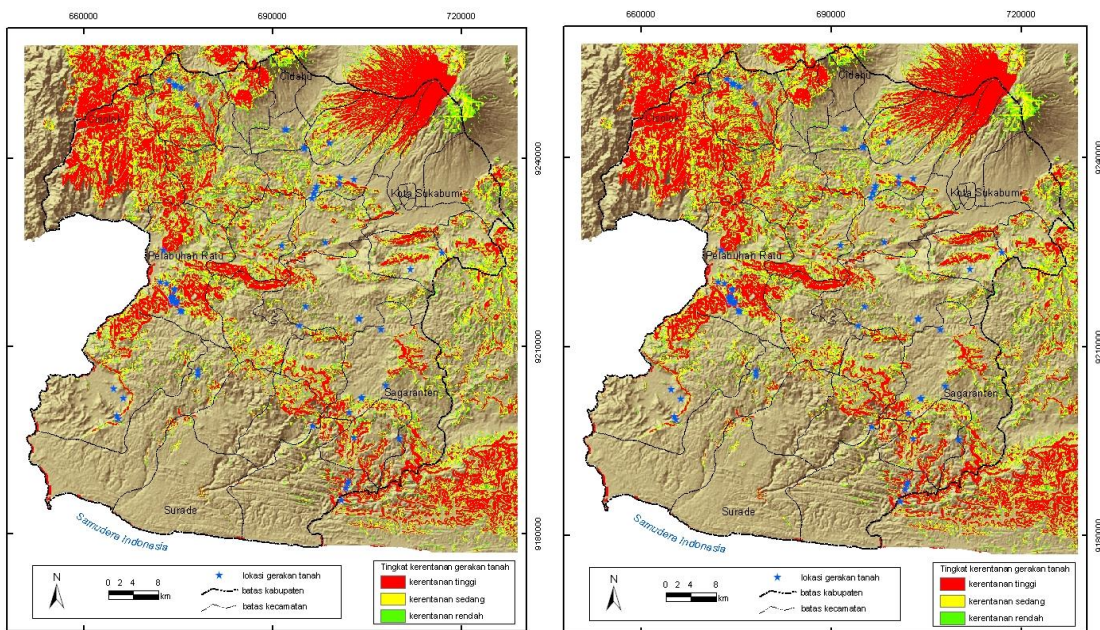
Parameter keteknikan tanah	Daerah rentan gerakan tanah	Daerah tidak rentan gerakan tanah
Berat isi (kN/m ³)	12,8 - 13,4	14,6 - 16,5
Kohesi efektif (kPa)	0 - 2	19,62 - 42,98
Sudut geser efektif (°)	0,92 - 25	12,95 - 57,27
Permeabilitas (m/det)	1×10^{-3} - 5×10^{-2}	2×10^{-4} - 5×10^{-5}



(a)

(b)

Gambar 7. Peta kerentanan gerakan tanah wilayah Kabupaten Sukabumi pada bulan (a) awal Januari dan (b) akhir Januari.



(a)

(b)

Gambar 8. Peta kerentanan gerakan tanah wilayah Kabupaten Sukabumi pada akhir bulan (a) Maret dan (b) April.

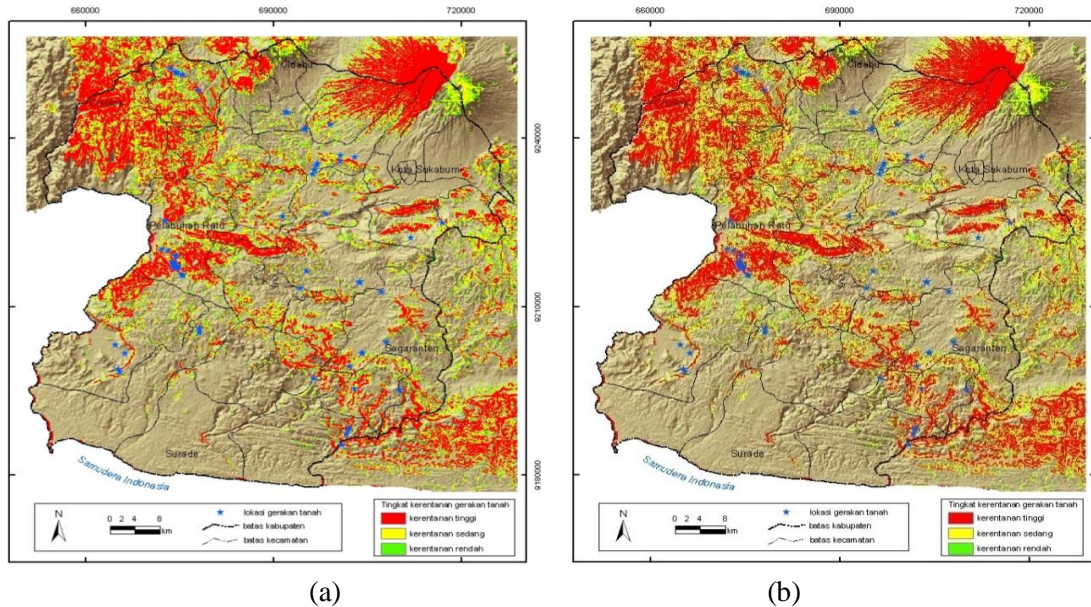
Berdasarkan Gambar 7 (b), luas zona kerentanan gerakan tanah tinggi semakin bertambah akibat curah hujan pada bulan Januari, terutama di wilayah Kecamatan Cisolok, Kadudampit, Nagrak dan Pelabuhan Ratu. Dengan demikian, durasi hujan menjadi faktor penyebab

peningkatan zona kerentanan gerakan tanah tinggi.

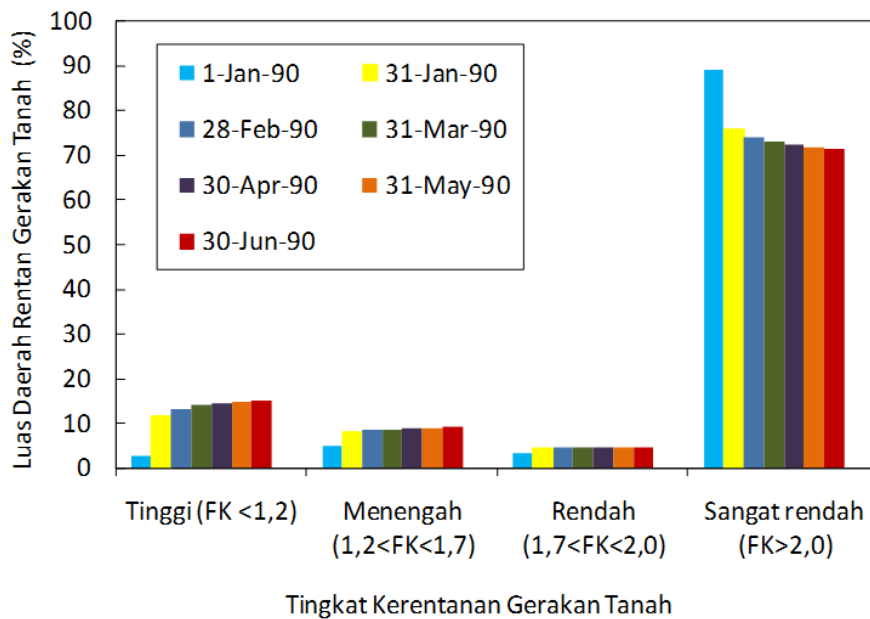
Berdasarkan Gambar 8 dan 9, zona kerentanan gerakan tanah tinggi dan menengah semakin meluas di beberapa wilayah kecamatan akibat peningkatan jumlah hari hujan hingga akhir bulan

Juni. Gambar 10 menyajikan perubahan luasan zona kerentanan gerakan tanah (dalam %) akibat presipitasi selama bulan Januari hingga Juni 1990. Berdasarkan histogram ini, peningkatan zona kerentanan gerakan tanah tinggi bisa mencapai 400% pada bulan Januari 1990. Sedangkan seiring dengan peningkatan jumlah hari hujan akibat curah hujan periode Januari hingga Juni 1990, kenaikan zona rentan tinggi dapat

mencapai 40% terjadi meskipun intensitas hujan harian dan jumlah hari hujan berkurang mendekati akhir periode hujan. Hal ini mengindikasikan bahwa selain kemiringan lereng dan sifat kuat geser tanah, durasi hujan juga menjadi faktor mengontrol terhadap perubahan tingkat kerentanan gerakan tanah di wilayah Kabupaten Sukabumi.



Gambar 9. Peta kerentanan gerakan tanah wilayah Kabupaten Sukabumi pada akhir bulan (a) Mei dan (b) Juni.



Gambar 10. Histogram perubahan luas daerah tingkat kerentanan gerakan tanah akibat pengaruh curah hujan selama bulan Januari hingga Juni 1990.

Gambar 7 hingga 9 juga memperlihatkan bahwa lokasi-lokasi gerakan tanah yang telah terjadi di wilayah Kabupaten Sukabumi pada umumnya berada di zona kerentanan gerakan tanah tinggi, seperti di Kecamatan Pelabuhan Ratu, Tegalbuleud, dan Cibadak. Dengan demikian, hasil pemodelan kerentanan gerakan tanah dengan mempertimbangkan variasi curah hujan dapat memberikan informasi mengenai lokasi-lokasi potensi bencana gerakan tanah saat musim hujan sehingga peringatan dini dapat diberikan kepada masyarakat di lokasi rentan gerakan tanah.

Beberapa peristiwa gerakan tanah juga terjadi di zona kerentanan rendah dan sangat rendah seperti di Kecamatan Parakan Salak, Cikembar dan Jampang Tengah (Gambar 7 hingga 9). Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, kejadian gerakan tanah di zona kerentanan rendah ini, dengan jenis gerakan tanah berupa tipe nendatan terjadi di sepanjang jalan raya yang tidak dilengkapi dengan sistem drainase yang baik (Gambar 11a) dan tipe luncuran terjadi di perbukitan dengan lereng sangat terjal dan tidak terdapat pemukiman di bawah lereng (Gambar 11b). Dengan demikian, potensi ancaman gerakan tanah di daerah-daerah pada zona kerentanan gerakan tanah rendah dapat meningkat apabila aliran air permukaan tidak terkontrol dengan baik saat musim hujan.

Hasil pemodelan kerentanan gerakan tanah ini mengindikasikan kelebihan metode deterministik dalam memetakan dan memprediksi kerentanan gerakan tanah secara spasial dan temporal

dibandingkan dengan metode analisis pembobotan kualitatif (*qualitative weight analysis*) berbasis GIS (*Geographic Information System*). Analisis deterministik mempertimbangkan faktor-faktor kondisi tanah bawah permukaan yaitu sifat keteknikan dan hidrologis tanah dan kondisi variasi curah hujan yang mempengaruhi kondisi kestabilan lereng, sementara metode pembobotan hanya mempertimbangkan faktor-faktor kondisi permukaan lereng yang tidak dapat dikorelasikan secara langsung dengan nilai faktor keamanan lereng.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data hujan dan kejadian gerakan tanah; kondisi geologi, kemiringan lereng, dan durasi curah hujan harian menjadi faktor yang mengontrol hubungan antara curah hujan dan peristiwa gerakan tanah di wilayah Kabupaten Sukabumi. Gerakan tanah umumnya terjadi pada lapisan tanah yang memiliki nilai kuat geser kecil dan permeabilitas yang besar.

Hasil analisis karakteristik curah hujan dan kejadian gerakan tanah di wilayah Kabupaten Sukabumi menunjukkan bahwa potensi gerakan tanah tinggi di wilayah bagian utara terjadi selama periode curah hujan bulan Januari hingga April. Sedangkan kejadian gerakan tanah di wilayah bagian selatan kemungkinan besar terasosiasi dengan curah hujan harian bulan Juni.

Hasil pemodelan kestabilan lereng secara spasial dan temporal yang menggunakan aplikasi



a) Longsoran tipe luncuran



b) Longsoran tipe nendatan

Gambar 11. Lokasi gerakan tanah di daerah rentan rendah (a) tipe luncuran Desa Cimerang, Kecamatan Parakan Salak dan (b) tipe nendatan di Desa Sukamulya, Kecamatan Cikembar.

TRIGRS mengindikasikan bahwa hampir semua peristiwa gerakan tanah di wilayah Kabupaten Sukabumi terjadi pada zona kerentanan menengah hingga tinggi, terutama di wilayah Kecamatan Pelabuhan Ratu, Cibadak dan Cisolok. Kejadian gerakan tanah pada zona kerentanan rendah kemungkinan dipengaruhi oleh faktor aliran air permukaan. Peningkatan luasan zona kerentanan gerakan tanah tinggi juga dapat terjadi pada saat mendekati akhir periode bulan basah meskipun jumlah hujan harian semakin berkurang di wilayah ini.

Makalah ini memperlihatkan bahwa analisis kestabilan lereng suatu wilayah perlu mempertimbangkan variasi kondisi keteknikan tanah secara spasial dan variasi curah hujan secara temporal agar hasil analisis dapat digunakan untuk mengkaji dan memprediksi potensi ancaman gerakan tanah secara lebih akurat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Kepala Pusat Penelitian Geoteknologi - LIPI yang telah memberikan dukungan kepada kami untuk melakukan penelitian ini dalam Sub Program Kompetitif: Kebencanaan dan Lingkungan tahun anggaran 2010 - 2011. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Sdr. Bambang Irianta dan Sdr. Rahmawati Rahayu yang membantu terlaksananya kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Baum, R.L., Savage, W.Z., dan Godt, J.W., 2002. TRIGRS-A fortran program for transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability analysis. U.S. Geological Survey Open-File Report 02-0424, 27 pp.
- BNPB, 2015. Data dan Informasi Bencana Indonesia. <http://dibi.bnpb.go.id/>. diakses tanggal 12 Mei 2015.
- Chen, C.Y., Chen, T.C., Yu, F. C., dan Lin, S.C., 2005. Analysis of time-varying rainfall infiltration induced landslide, *Eng. Geol.*, 48, 466–479.
- Effendi, A.C dan Hermanto, B., 1998. Peta Geologi Lembar Bogor, Jawa Barat, Skala

1: 100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Departemen Pertambangan dan Energi.

- Godt, J.W., Baum, R.B., Savage, W.Z., Salciarini, D., Schulz, W. H., and Harp, E. L., 2008. Transient deterministic shallow landslide modeling: Requirements for susceptibility and hazard assessments in a GIS framework. *Eng. Geol.*, 102, 214–226.
- Iverson, R.M., 2000. Landslide triggering by rain infiltration. *Water Resour. Res.*, 36, 1897–1910.
- Liao, Z., Hong, Y., Kirschbaum, D., Adler, R.F., Gourley, J.J., Wooten, R., 2011. Evaluation of TRIGRS (transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability analysis)'s predictive skill for hurricane-triggered landslides: a case study in Macon County, North Carolina. *Nat Hazards*, 58, 325–339.
- Narulita, I., Maria, R., dan Djuwansah, M.R., 2010. Karakteristik curah hujan di wilayah pengaliran sungai (WPS) Ciliwung Cisadane, *Riset Geologi dan Pertambangan*, 20(2), 95 -110.
- Park, D.W., Nikhil, N.V., Lee, S.R., 2013. Landslide and Debris Flow Susceptibility Zonation using TRIGRS for the 2011 Seoul Landslide Event. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13, 2833–2849.
- Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 2004. Peta Kerentanan Gerakan Tanah Kota dan Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, Badan Geologi.
- Salciarini, D., Godt, J.W., Savage, W.Z., Conversini, P., Baum, R. L., and Michael, J.A., 2006. Modeling regional initiation of rainfall - induced shallow landslides in the eastern Umbria Region of central Italy. *Landslides*, 3, 181–194.
- Sarah, D., Sugianti, K., Lestiana, H., 2015. Regional slope stability assessment of Tawangmangu District, Central Java, *Proceeding International Conference on Landslide and Slope Stability, N3-1 - N3-5*, Bali, Indonesia.

- Sugianti, K., Mulyadi, D., Sarah, D., 2014. Pengklasasian tingkat kerentanan gerakan tanah daerah Sumedang Selatan menggunakan metode Storie, *Riset Geologi dan Pertambangan* 24(2), 93-104.
- Sukanto, Rab, 1975. Peta Geologi Lembar Jampang dan Balekambang, Jawa Barat, Skala 1: 100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Departemen Pertambangan dan Energi.
- Tan, H.C, Ku, Y.C, Chi, Y.S., Chen, H.Y., Fei, Y.L., Lee, F.J., Su, W.T., 2008. Assessment of regional rainfall-induced landslides using 3S-based hydro-geological model. *Landslides and Engineered Slopes*, 1639-1645.
- Tohari, A and Santoso, H., 2015. Assessment of climate change impact on landslide hazard in West Java, Proc. International Conference on Landslide and Slope Stability, F1-1 - F1-6, Denpasar, Indonesia. 27-30.
- Tohari, A., Santoso, H., Sukristiyanti, Sugianti, K. Rahayu, R., Irianta, B., 2011. Dampak perubahan iklim terhadap kerentanan gerakan tanah di Jawa Barat: studi kasus daerah rawan tanah longsor di Kabupaten Sukabumi. Laporan Akhir Kumulatif kegiatan kompetitif LIPI (periode 2009-2011), Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI (unpublished).
- Ward, T.J., 1976. Factor of safety approach to landslide potential delineation. Dissertation, Department of Civil Engineering, Colorado State, Fort Collins, Colorado.