

## PEMODELAN KERENTANAN GERAKAN TANAH DI KAWASAN TAWANGMANGU KABUPATEN KARANGANYAR, JAWA TENGAH

**Hilda Lestiana<sup>1</sup>, Dwi Sarah<sup>1</sup>, Dedi Mulyadi<sup>1</sup>, Mudrik Daryono<sup>1</sup>, Yugo Kumoro<sup>1</sup>, dan  
Wawan H.Nur<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Jalan Sangkuriang Bandung 40135  
Telpon: +62 022 2503654, Fax: +62 022 2504593  
Email: hild001@geotek.lipi.go.id

### **Sari**

Kawasan Tawangmangu, Kabupaten Karanganyar merupakan daerah pariwisata yang mempunyai tingkat kerentanan gerakan tanah yang tinggi. Kejadian gerakan tanah yang terekam menunjukkan bahwa gerakan tanah di kawasan ini, sering terjadi terutama pada bulan-bulan basah. Peristiwa longsor di penghujung tahun 2007 dan awal tahun 2009 telah menimbulkan korban jiwa dan kerugian yang cukup besar. Untuk mengantisipasi bencana gerakan tanah dan dampaknya di masa mendatang diperlukan pemetaan mikrozonasi kerentanan gerakan tanah yang bersifat komprehensif dan tepat guna. Penelitian ini bertujuan menghasilkan peta kerentanan gerakan tanah di Kecamatan Tawangmangu berdasarkan pemodelan kestabilan lereng yang berbasis data raster dengan memasukkan aspek curah hujan serta aspek fisik lainnya. Kegiatan pengambilan data lapangan berupa pengambilan sampel tanah tak terganggu dan pengujian laju infiltrasi yang dilanjutkan dengan pengujian laboratorium geoteknik pada sampel-sampel tanah, dilakukan untuk mendapatkan nilai-nilai sifat fisik dan keteknikan tanah sebagai masukan pada pekerjaan pemodelan kerentanan gerakan tanah. Pemodelan analisis kestabilan lereng spasial menggunakan program TRIGRS dilakukan untuk mengetahui tingkat kestabilan lereng dan distribusinya serta pengaruh curah hujan pada daerah studi. Dari hasil pemodelan diketahui bahwa besarnya curah hujan tidak mempengaruhi kerentanan gerakan tanah, tetapi bentuk morfologi serta sifat tanah yang merupakan faktor yang paling berpengaruh pada kejadian gerakan tanah, dimana lebih dari 40% daerah kecamatan Tawangmangu memiliki tingkat kestabilan lereng dengan faktor resiko yang relatif tinggi. Perubahan tutupan lahan menjadi ladang menjadi memperburuk kondisi terjadinya longsor di kawasan Tawangmangu.

**Kata kunci:** Tawangmangu, gerakan tanah, pemodelan kestabilan lereng spasial.

### **Abstract**

*Tawangmangu area, Karanganyar Regency is a well known tourism area highly susceptible to landslide. Records of landslide events showed that landslide often occurs in this area particularly during the wet months. Landslide occurred at the end of 2007 and beginning of 2009 had a number of human lives and caused great economic losses. To anticipate the potential of landslide hazard and its impact, comprehensive and comprehensible landslide microzonation map of this area is required. This research is aimed to construct a landslide susceptibility map of Tawangmangu area based on spatial slope stability modeling incorporating precipitation and other physical aspects. Field data acquisition included undisturbed soil sampling and soil infiltration test and geotechnical laboratory testing were carried out to obtain the physical and engineering properties of the soil required for the landslide susceptibility modeling. Spatial slope stability modeling was carried out using TRIGRS to obtain the slope stability level of the study area and its distribution. Modelling results showed that the amount of precipitation does not contribute a major influence to the landslide susceptibility, but the morphology and soil properties greatly influence the occurrence of landslides where more than 40% of the*

*Tawangmangu area are found to have low safety factors highly susceptible to landslides. The change of land covers to agricultural fields contributes to the degradation of the slope stability condition in Tawangmangu area.*

**Keywords:** *Tawangmangu, landslide, spatial slope stability modelling.*

## **PENDAHULUAN**

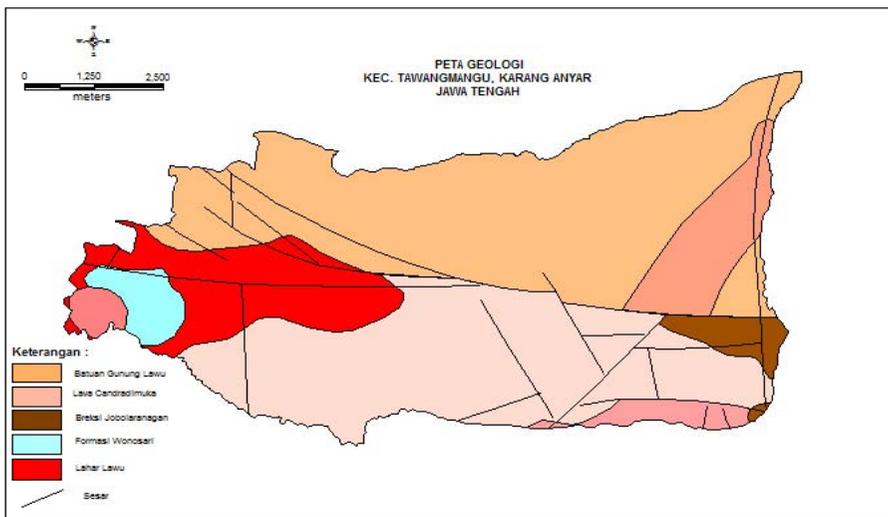
Kecamatan Tawangmangu, Kabupaten Karanganyar merupakan daerah pariwisata yang terletak di lereng Gunung Lawu. Berdasarkan Peta Zonasi Kerentanan Gerakan Tanah Provinsi Jawa Tengah (PVMBG, 2006) daerah ini masuk ke dalam kategori zona rentan gerakan tanah menengah dan tinggi. Peristiwa longsor yang terjadi pada tahun di penghujung tahun 2007 dan awal tahun 2009 dengan korban jiwa dan kerugian yang cukup besar merupakan indikator perlunya pemetaan mikrozonasi kerentanan gerakan tanah di daerah ini. Resiko bahaya gerakan tanah pada beberapa tahun terakhir semakin meningkat seiring dengan pesatnya laju pertambahan penduduk, pembangunan pemukiman dan infrastruktur di kawasan perbukitan dan juga perubahan iklim global yang menyebabkan anomali cuaca yang sulit diprediksi (Mudrik R Daryono dkk, 2007).

Kejadian gerakan tanah dipengaruhi beberapa faktor yang bersifat khas untuk setiap daerah (*site specific*) seperti geologi dan geoteknik, topografi, hidrologi dan curah hujan setempat. Penyelidikan dan pemetaan terdahulu di daerah studi terfokus pada informasi tentang mekanisme penyebab longsor pada kejadian bencana longsor dan pemetaan titik-titik yang rawan longsor di daerah Kabupaten Karanganyar (PVMBG, 2006). Diperlukan pemetaan yang mencakup berbagai aspek yang mempengaruhi kerentanan gerakan tanah termasuk faktor pemicunya, yang dapat menggambarkan tingkat kerentanan sesuai dengan kondisi setempat. Penelitian ini memodelkan kerentanan gerakan tanah di kawasan Tawangmangu menggunakan metode analisis kestabilan lereng spasial untuk mendapatkan peta kerentanan gerakan tanah yang menggambarkan tingkat kerentanan daerah studi yang berbasis pada aspek fisik dan pemicunya.

## **1. Geologi dan Curah Hujan Daerah Tawangmangu**

### **1.1 Geologi Daerah Tawangmangu**

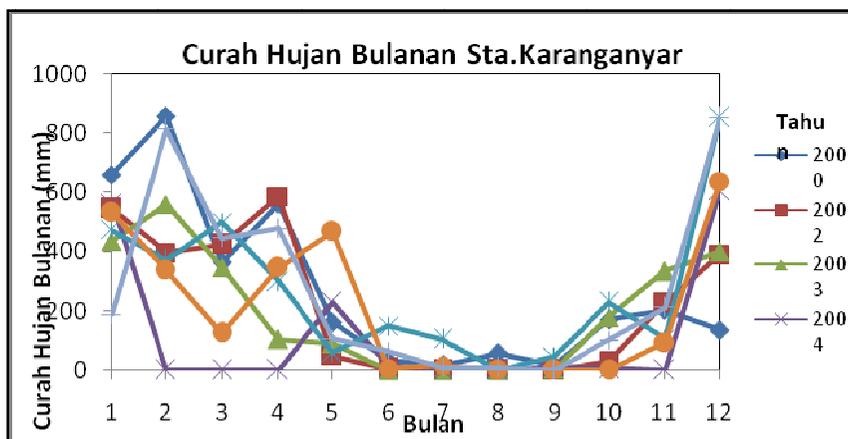
Geologi daerah penelitian didominasi oleh endapan Gunung Lawu yang tersingkap dari bagian barat hingga timur, di bagian bawah daerah penelitian ditemukan satuan endapan lava yang telah lapuk berumur Kuartar. Di bagian barat ditemukan singkapan batugamping Formasi Wonosari yang tersingkap secara setempat (Gambar 1). Batuan yang tersingkap di lokasi gerakan tanah merupakan hasil lapukan endapan vulkanik berwarna coklat kemerahan, berupa lempung pasir, ketebalan 4 m – 6 m dengan permeabilitas sedang, bersifat lepas dan mudah runtuh. Geomorfologi daerah Tawangmangu terdiri dari perbukitan curam dengan elevasi 400 – 2200 m di atas permukaan laut, mempunyai kemiringan antara 5 - 45 °. Struktur geologi yang berkembang berupa sesar dengan arah umum timur laut - barat daya dan dipotong oleh sesar-sesar berarah barat laut dan tenggara. Struktur geologi yang cukup rumit berada di daerah barat daya tepatnya di daerah Tawangmangu dan Mogol, Karangpandan, Srandon, Kuripan, Butung dan Kuripan.



**Gambar 1.** Peta Geologi daerah Tawangmangu dan sekitarnya

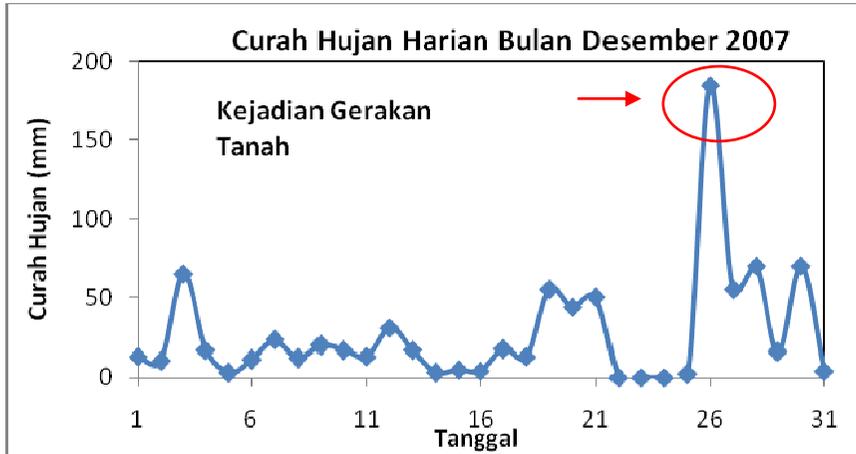
### 1.2 Curah Hujan Daerah Tawangmangu

Data curah hujan dari stasiun hujan Tawangmangu menunjukkan bahwa curah hujan tahunan berkisar antara 1434 – 3277 mm/tahun dengan rata-rata 2300 mm/tahun. Intensitas hujan bulanan berkisar antara 100-500 mm/bulan dengan rata-rata 224 mm/hari. Curah hujan cukup tinggi terjadi antara bulan Oktober hingga Mei (Gambar 2).



**Gambar 2.** Grafik Curah Hujan Bulanan Stasiun Tawangmangu Tahun 2000-2007

Pada tanggal 26 Desember tahun 2007 terjadi bencana gerakan tanah di Kabupaten Karanganyar yang tersebar di sembilan kecamatan, yaitu Tawangmangu, Karangpandan, Matesih, Ngagoryoso, Jatiyoso, Jumapolo, Jenawi, Kerjo dan Jumantono. Dari **Gambar 9**, dapat dilihat bahwa curah hujan bulanan di daerah studi pada Desember sangat tinggi dengan total curah hujan bulan tersebut mencapai 846 mm. Gambar 3 menunjukkan curah hujan harian bulan Desember 2007, dapat dilihat bahwa pada saat kejadian gerakan tanah intensitas curah hujan di stasiun Tawangmangu sangat tinggi yaitu 185 mm/hari.



Gambar 3. Grafik Curah Hujan Harian Stasiun Tawangmangu Bulan Desember 2007

## METODOLOGI

### 1. Metodologi

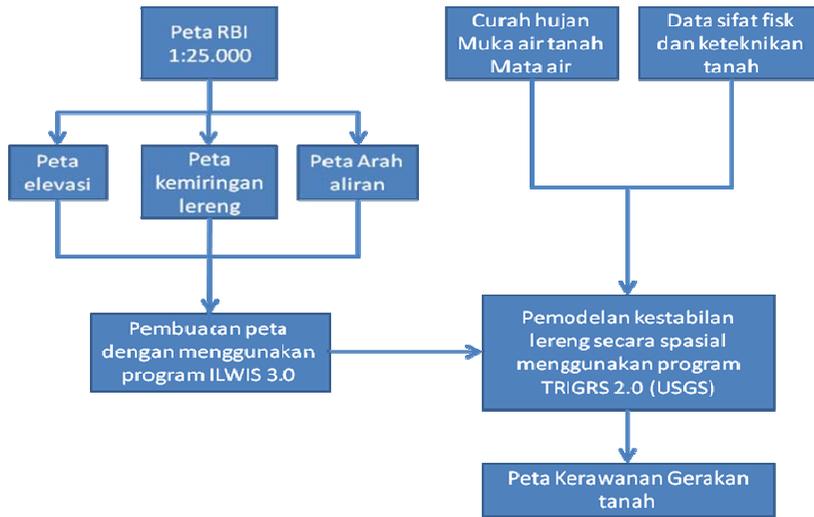
Pemodelan kerentanan gerakan tanah dilakukan berdasarkan pemodelan kestabilan lereng berbasis data raster yang mengintegrasikan aspek-aspek fisik yang mempengaruhi tingkat kestabilan. Pemodelan menggunakan dilakukan paket perangkat lunak TRIGRS (*Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional Slope-Stability Analysis*) versi 2.0 dari USGS (Baum et.al, 2002) untuk mengetahui tingkat kestabilan lereng dan distribusinya pada daerah studi yang dinyatakan dalam faktor keamanan. Faktor keamanan lereng akan dihitung dengan menggunakan persamaan dari Iverson (2000) sebagai berikut:

$$FS = \frac{\tan \varphi'}{\tan \theta} + \frac{c' - \psi(Z, t)\gamma_w \tan \varphi'}{\gamma_s Z \sin \theta \cos \theta}$$

dimana,  $c'$  adalah kohesi efektif,  $Z$  adalah ketebalan tanah,  $\psi$  adalah tekanan air tanah transient,  $t$  adalah waktu,  $\theta$  adalah sudut bidang gelincir,  $\varphi'$  adalah sudut geser efektif,  $\gamma_w$  adalah berat isi air dan  $\gamma_s$  adalah berat isi tanah.

Data masukan yang diperlukan dalam pemodelan ini adalah peta elevasi, peta kemiringan lereng, peta arah aliran, data hidrologi (curah hujan, muka air tanah, mata air) dan sifat fisik dan keteknikan tanah. Untuk mengintegrasikan data-data masukan dalam perhitungan kestabilan lereng spasial maka dilakukan pembuatan peta-peta raster tematik menggunakan software ILWIS 3.0 Academic (ITC, 2001). Pengolahan data pemodelan kerentanan gerakan tanah yang dilakukan seperti terlihat di skema pada Gambar 4.

Skema pengolahan data yang akan dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Skema Pengolahan Data Pemodelan Kerentanan Gerakan Tanah

Untuk menentukan tingkat kerentanan gerakan tanah, maka distribusi faktor keamanan yang didapatkan dari pemodelan menggunakan program TRIGRS 2.0 (Baum, 2002) diklasifikasikan menurut metode Ward (1976), seperti terdapat pada Tabel 1.

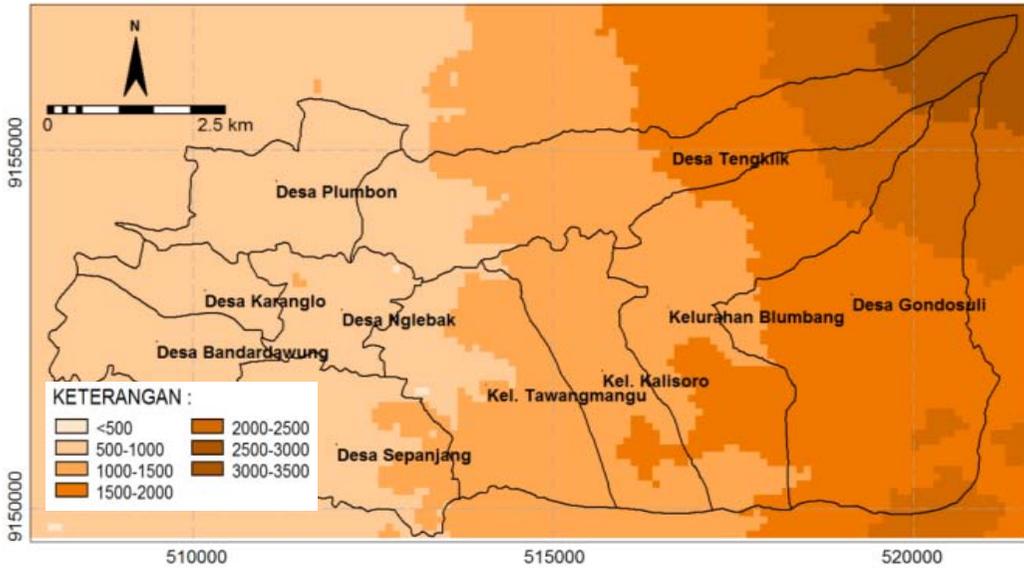
**Tabel 1.** Sistem Klasifikasi Kerentanan Gerakan Tanah menurut Ward( 1976)

Faktor Keamanan (FK)	Kerawanan Gerakan Tanah
$FK > 2.0$	Kerawanan Sangat Rendah
$2.0 > FK > 1.7$	Kerawanan Rendah
$1.7 > FK > 1.2$	Kerawanan Menengah
$FK < 1.2$	Kerawanan Tinggi

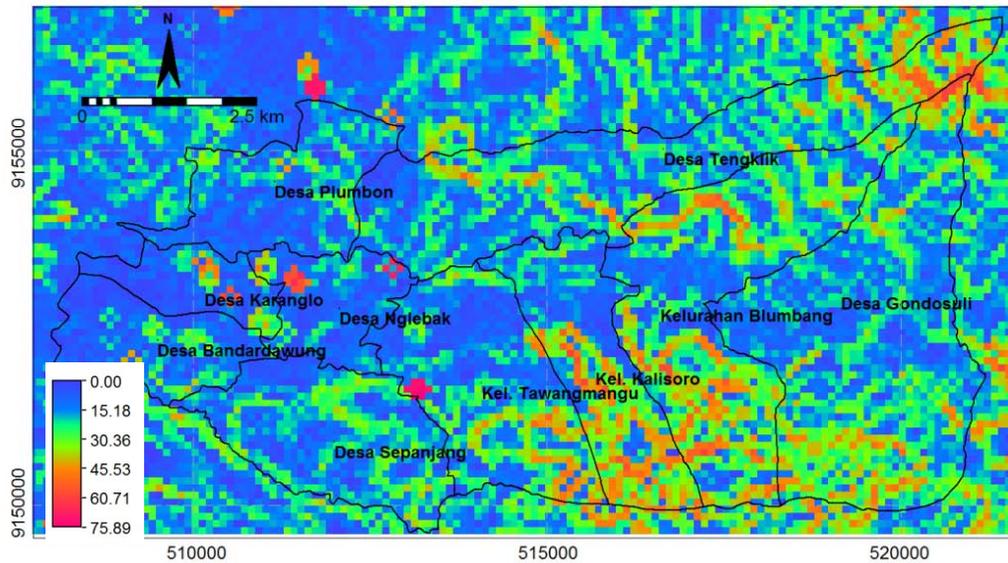
## 2. Data Masukan

### 2.1 Data Topografi

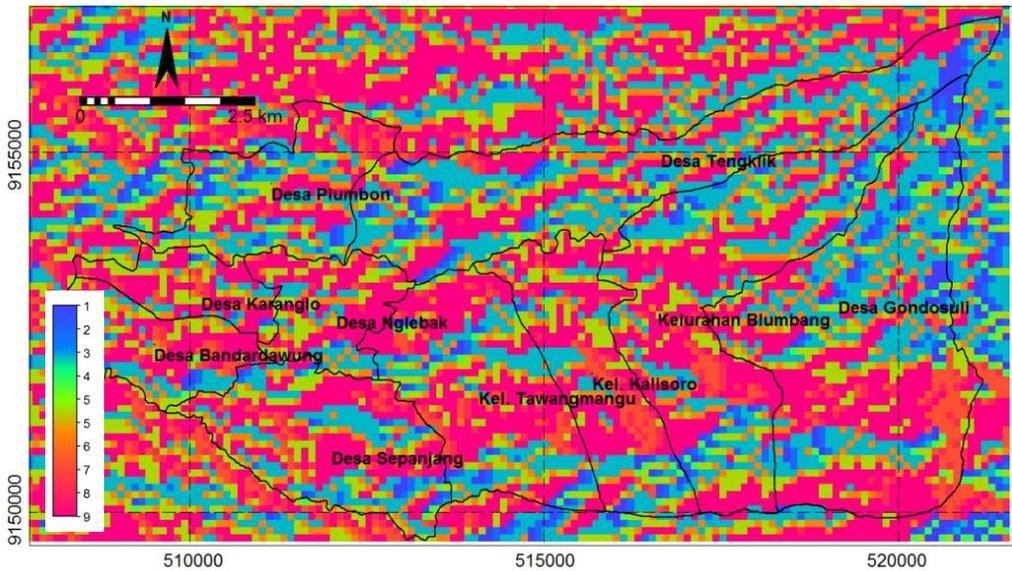
Pada pemodelan kestabilan lereng spasial ini, peta kontur daerah Tawangmangu dengan skala 1:25.000 digunakan untuk menghasilkan peta elevasi, kemiringan lereng dan arah aliran yang menjadi masukan pada pemodelan TRIGRS (Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7).



**Gambar 5.** Peta elevasi hasil ekstraksi peta kontur dengan perangkat lunak ILWIS 3.0



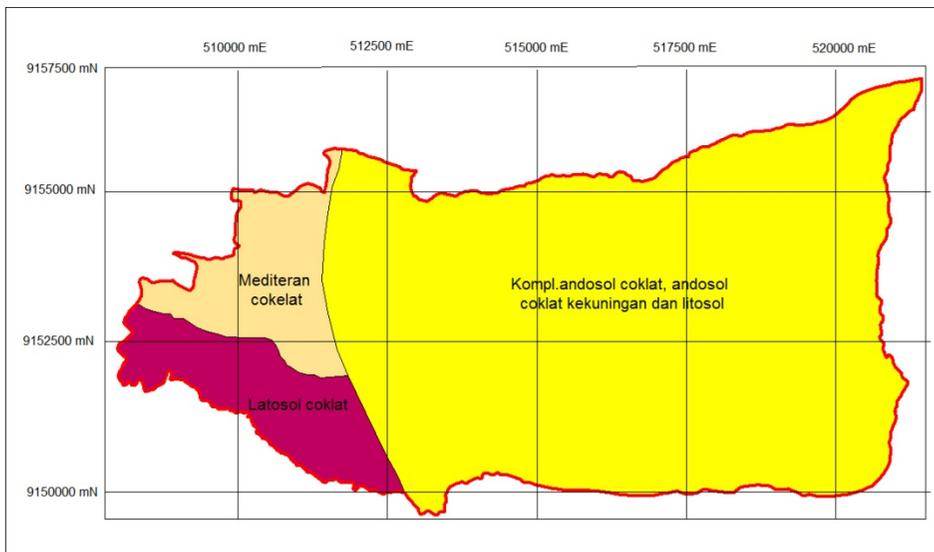
**Gambar 6.** Peta kemiringan lereng hasil ekstraksi peta kontur dengan perangkat lunak ILWIS 3.0



**Gambar 7.** Peta arah aliran hasil ekstraksi peta kontur dengan perangkat lunak ILWIS 3.0

## 2.2. Data Sifat Fisik dan Keteknikan Tanah

Pada pemodelan ini, sifat fisik dan keteknikan tanah dibagi menjadi 3 zona berdasarkan jenis tanah yang terdapat di daerah Tawangmangu (Gambar 8).



**Gambar 8.** Peta Tanah Daerah Tawangmangu dan sekitarnya

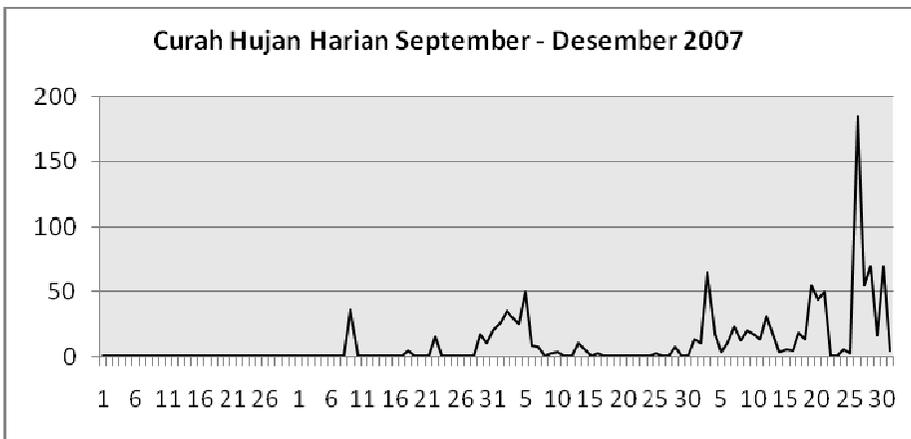
Paramater sifat fisik dan keteknikan tanah yang digunakan dalam pemodelan didapatkan dari pengujian infiltrasi lapangan dan hasil uji laboratorium geologi teknik contoh-contoh tanah tak terganggu yang diambil dari lokasi penelitian, secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Paramater Sifat Fisik dan Keteknikan Tanah Yang Digunakan Pada Pemodelan Kestabilan Lereng Spasial TRIGRS 2.0 (USGS).

Parameter	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Jenis tanah	Kompleks Andosol coklat	Mediteran coklat	Latosol coklat
Bobot isi, $\gamma_s$ (N/m <sup>3</sup> )	14700	12400	15100
Kohesi efektif, $c'$ (Pa)	25088	3528	2744
Sudut geser dalam efektif, $\phi'$ (°)	23.8	26.89	28.10
Permeabilitas jenuh, $k_s$ (m/s)	$3.05 \times 10^{-07}$	$3.31 \times 10^{-07}$	$3.61 \times 10^{-07}$
Laju infiltrasi awal (m/s)	$1.93 \times 10^{-05}$	$4.57 \times 10^{-05}$	$1.93 \times 10^{-06}$
Diffusivitas, D (m <sup>2</sup> /s)	$1.60 \times 10^{-06}$	$3.90 \times 10^{-06}$	$1.15 \times 10^{-06}$

### 2.3. Data Curah Hujan

Pemodelan diawali dengan skenario curah hujan pada musim kemarau untuk mengetahui pengaruh curah hujan terhadap pemodelan. Skenario dimulai pada awal bulan September, dimana curah hujan mendekati nol hingga bulan Desember 2007 (Gambar 9).



**Gambar 9.** Grafik Curah Hujan Harian Stasiun Tawangmangu pada Bulan September – Desember 2007

## HASIL

Hasil pemodelan kestabilan lereng spasial adalah peta-peta kerentanan gerakan tanah di Kecamatan Tawangmangu dengan masukan data-data curah hujan sejak awal bulan September, hingga akhir bulan Desember 2007 (**Gambar 9**). Representasi dari skenario curah hujan tersebut pada musim kemarau, awal musim hujan dan puncak curah hujan terlihat pada peta- peta berikut ini:

- Peta kerentanan gerakan tanah musim kemarau 18 September 2007 (Gambar 10)
- Peta kerentanan gerakan tanah pada awal musim hujan 3 Desember 2007 (Gambar 11)
- Peta kerentanan gerakan tanah pada puncak curah hujan max 26 Desember 2007(Gambar 12)

- Tabel Persentase Kelas Kerentanan (*susceptibility*) dan luas wilayah (Tabel 3).

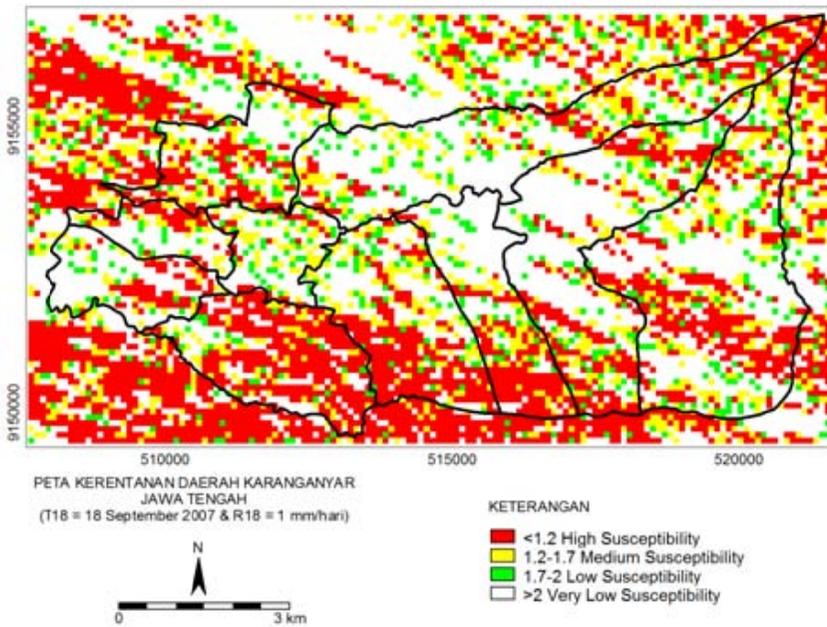
Pemodelan kerentanan gerakan tanah di Kecamatan Tawangmangu menunjukkan bahwa luasan daerah ini didominasi oleh tingkat kerentanan tinggi (43%) diikuti oleh daerah dengan tingkat kerentanan tanah sangat rendah (34%).

Hasil pemodelan kerentanan gerakan tanah dengan skenario kondisi curah hujan musim kemarau hingga puncak curah hujan maksimum tidak menunjukkan perubahan distribusi tingkat kerentanan. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi fisik (geologi dan morfologi) daerah studi memang telah membentuk tingkat kerentanan gerakan tanah yang tinggi.

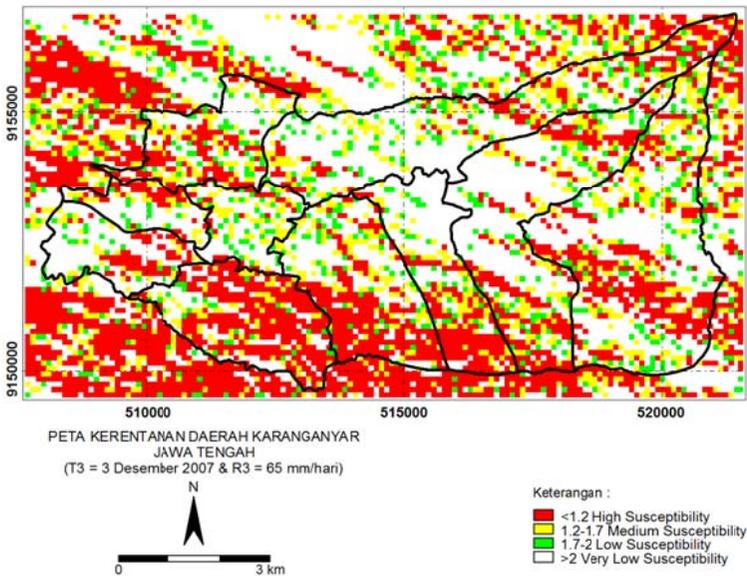
## ANALISIS/DISKUSI

Pemodelan kestabilan lereng spasial dengan menggunakan program TRIGRS 2.0 menghasilkan peta kerentanan gerakan tanah di kecamatan Tawangmangu. Berdasarkan nilai faktor keamanan dibuat empat kelas kerentanan yaitu High Susceptibility ( $f_k < 1.2$ ), Medium Susceptibility ( $1.2 < f_k < 1.7$ ), Low Susceptibility ( $1.7 < f_k < 1.2$ ), dan Very Low Susceptibility ( $f_k > 2$ ) (Tabel 3). Program tersebut dijalankan berdasarkan jumlah hari yang dimulai dari tanggal 1 September sampai dengan tanggal 31 Desember 2007, dan menghasilkan distribusi daerah kerentanan secara spasial sesuai dengan besarnya curah hujan pada hari tersebut. Sebagai gambaran seperti ditunjukkan pada gambar 10, 11, dan 12, perbandingan perubahan hasil pemodelan dengan masukan curah hujan yang berbeda-beda.

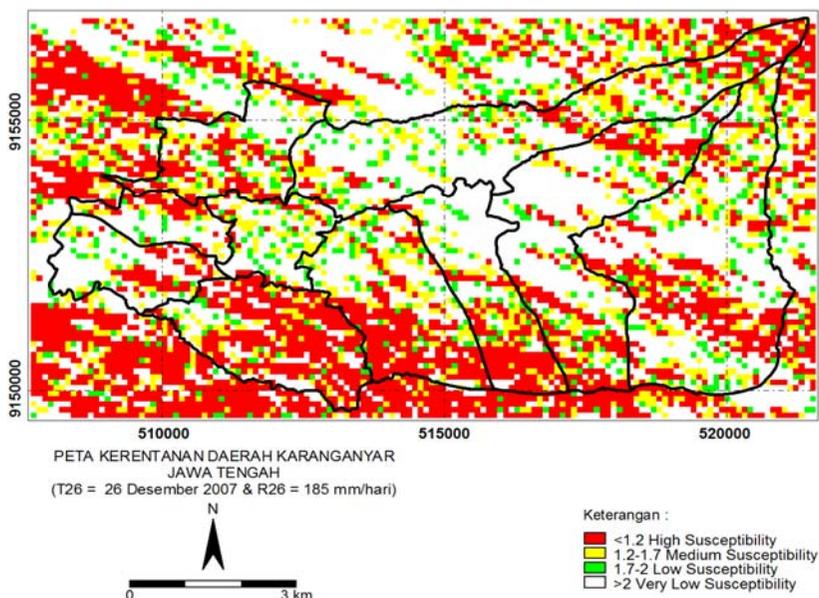
Sebagai perwakilan musim kemarau diambil tanggal 18 September dengan besar curah hujan 1 mm (Gambar 10), awal musim penghujan pada tanggal 3 Desember 2007 dengan besar curah hujan 65 mm (Gambar 11), dan puncak curah hujan maksimum pada tanggal 26 Desember 2007 dengan besar curah hujan 185 mm (Gambar 12). Terlihat bahwa sekalipun curah hujan masih minimum, tingkat kerentanan di kecamatan Tawangmangu sudah tinggi. Sehingga besarnya faktor fisik seperti geomorfologi serta sifat fisik tanah merupakan faktor yang sangat mempengaruhi tingginya kerentanan di kawasan tersebut. Kejadian hujan yang terus menerus di sepanjang bulan Desember serta tingginya curah hujan pada tanggal 26 Desember 2007 (185mm) merupakan pemicu bagi terjadinya gerakan tanah di kawasan tersebut.



**Gambar 10.** Peta kerentanan gerakan tanah pada musim kemarau diambil tanggal 18 September dengan besar curah hujan 1 mm



**Gambar 11.** Peta kerentanan gerakan tanah pada awal musim penghujan pada tanggal 3 Desember 2007 dengan besar curah hujan 65 mm



**Gambar 12.** Peta kerentanan gerakan tanah pada puncak curah hujan maksimum pada tanggal 26 Desember 2007 dengan besar curah hujan 185 mm

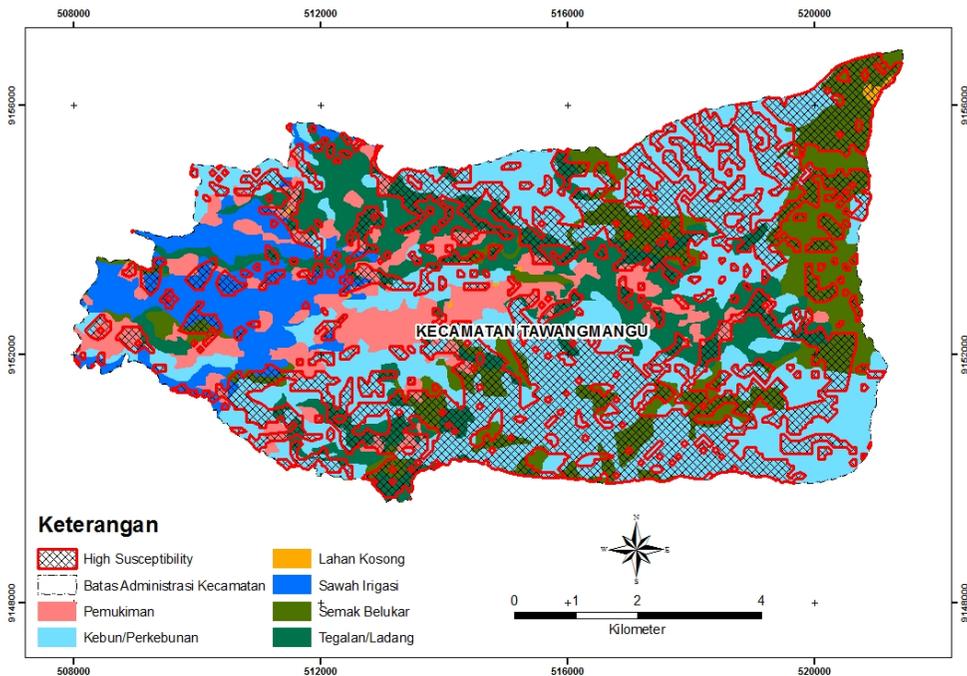
Hasil akhir pemodelan pada tanggal 31 Desember menunjukkan distribusi kelas kerentanan gerakan tanah dengan luas tertinggi adalah kelas *High Susceptibility* dan diikuti dengan kelas *Very Low Susceptibility*.

**Tabel 3.** Peta Kerentanan Hasil Pemodelan

No	Kelas	Luas Wilayah (Km)	Prosentase
1	High Susceptibility	26,959	43,119
2	Medium Susceptibility	10,825	17,314
3	Low Susceptibility	3,361	5,376
4	Very Low Susceptibility	21,377	34,191
Total		62,522	100,000

Apabila hasil pemodelan ditumpangtindihkan dengan kelas tutupan lahan (Gambar 13), maka terlihat bahwa daerah-daerah dengan kerentanan tinggi berada pada kelas kebun dan ladang. Hal ini menunjukkan bahwa selain faktor kemiringan lereng, kekompakan dari tanah juga mempengaruhi faktor keselamatan. Hal ini tentu dapat menjadi masukan bagi Dinas Pertanian Kabupaten Karanganyar (wawancara), untuk merubah kebijakannya terutama untuk daerah dengan kemiringan lereng yang tinggi, dalam hal program penghijauan dengan menyarankan masyarakat untuk menanam tanaman palawija dan memasukkan air sebanyak-banyaknya ke

dalam tanah. Hal ini tentu akan memperburuk kondisi fisik tanah di kabupaten Karanganyar khususnya di kabupaten Tawangmangu.



**Gambar 13.** Pemodelan ditumpangtindihkan dengan kelas tutupan lahan

Sebagai saran diperlukan penelitian lanjut untuk dapat menentukan jenis tanaman yang dapat mendukung kekuatan tanah serta teknologi yang dapat mengurangi bahaya longsor di kawasan Tawangmangu.

## KESIMPULAN

Pemodelan kestabilan lereng secara spasial dengan menggunakan program TRIGRS 2.0 menghasilkan peta kerentanan gerakan tanah di berdasarkan nilai faktor keamanan

Kecamatan Tawangmangu memiliki empat kelas kerentanan yaitu High Susceptibility ( $f_k < 1.2$ ), Medium Susceptibility ( $1.2 < f_k < 1.7$ ), Low Susceptibility ( $1.7 < f_k < 1.2$ ), dan Very Low Susceptibility ( $f_k > 2$ ).

Hasil simulasi skenario curah hujan menunjukkan bahwa sekalipun curah hujan masih minimum, tingkat kerentanan di kecamatan Tawangmangu sudah tinggi. Besarnya faktor fisik seperti geomorfologi serta sifat fisik tanah merupakan faktor yang sangat mempengaruhi tingginya kerentanan di kawasan tersebut. Kejadian hujan yang terus menerus di sepanjang bulan Desember serta tingginya curah hujan merupakan pemicu bagi terjadinya gerakan tanah di kawasan tersebut.

Kawasan Tawangmangu memiliki tingkat kerentanan bencana gerakan tanah yang cukup tinggi (lebih dari 40% wilayah). Perubahan tutupan lahan menjadi ladang menjadi memperburuk kondisi terjadinya longsor di kawasan Tawangmangu, sehingga perlu penelitian untuk menentukan jenis tanaman yang dapat mendukung kekuatan tanah serta teknologi yang dapat mengurangi bahaya longsor di kawasan Tawangmangu.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Kepala Puslit Geoteknologi LIPI beserta karyawan yang telah mendukung atas terlaksananya kegiatan penelitian ini, Program Insentif Peneliti dan Perekayasa DIKTI yang telah mendanai kegiatan penelitian ini, juga anggota tim beserta Pemerintah Daerah Karanganyar yang telah membantu dalam pelaksanaan 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 p.
- Daryon.M.R. dkk. (2007). *Penyelidikan Geoteknik Gerakan Tanah Tipe Rayapan Di Kampung Salawangi, Kecamatan Salawu, Tasikmalaya*. Laporan Penelitian Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI tahun 2007.
- PVMBG, 2006, *Peta Zonasi Kerentanan Gerakan Tanah Provinsi Jawa Tengah*.
- Radarsolo edisi Minggu, 1 Februari 2009,  
[http://www.radarsolo.net/index.php?option=com\\_content&view=category&id=34&Itemid=27](http://www.radarsolo.net/index.php?option=com_content&view=category&id=34&Itemid=27)
- Ward.(1976). *Factor of Safety Approach to Landslide Potential Delineation*. Dissertation, Department of Civil Engineering, Colorado State, Forth Collins, Colorado.

