

---

**PEMETAAN PREDIKSI SEBARAN KERENTANAN LONGSOR DI  
KECAMATAN TAWANGMANGU, KABUPATEN KARANGANYAR  
MENGUNAKAN PENDEKATAN *FUZZY LOGIC***

**Mapping for Prediction of Landslide Vulnerability in Tawangmangu  
District, Karanganyar Regency using Fuzzy Logic Approach**

**Mualif Adi Saputra, Mochtar Lutfi Rayes\*, Istika Nita**

Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang 65145

\*Penulis korespondensi: luthfi.rayes@gmail.com

---

**Abstract**

Tawangmangu District is one of the problem areas in Karanganyar Regency related to landslides. Land use that is not in accordance with the slope and triggered by high rainfall makes the District of Tawangmangu an area with criteria of landslides of medium to high criteria. Mitigation efforts need to be carried out to minimize the danger of landslides. Data limitations are the basis for these mitigation efforts. This can be solved using fuzzy logic. This method can be used by looking at a limited area and data. This research was conducted in Tawangmangu District by dividing the research location into 16 land map units (LMU). The results showed that Tawangmangu District was divided into four classes, involve: not vulnerable, low, medium and high. Criteria are not vulnerable to spread in 9; 7; 11; 10 and 12 LMU, low spread in 3; 4; 5; 16; 8 and 13 LMU, medium spread in 2; 15 and 1 LMU and high vulnerability only in 14 LMU. Factors that can take effect the occurrence of landslides in Tawangmangu District are slope, land use and bulk rainfall. This method can be applied at research sites because it has the accuracy of very accurate results.

**Keywords:** *fuzzy logic, land map units, landslide*

---

**Pendahuluan**

Longsor merupakan suatu bencana alam yang melibatkan perpindahan massa batuan, regolith maupun tanah dalam jumlah yang besar dari tempat tinggi ke tempat yang rendah (Soemarno, 2009). Kerentanan longsor merupakan suatu kondisi wilayah yang memiliki potensi terjadinya bencana longsor, apabila kondisi wilayah tersebut memiliki kemiringan lereng curam (>25%), memiliki bidang luncur berupa lapisan bawah permukaan tanah yang semi permable dan lunak, serta terdapat cukup air untuk memenuhi tanah diatas bidang luncur (Karnawati, 2001).

Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Karanganyar tahun 2013 mengemukakan bahwa Kecamatan Tawangmangu merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Karanganyar yang

memiliki kriteria kerentanan longsor dari sedang hingga tinggi. Hal ini dikarenakan Kecamatan Tawangmangu memiliki faktor-faktor yang memicu terjadinya longsor, seperti kemiringan lereng yang beragam dari datar (<8%) hingga sangat curam (>45%); tutupan lahan yang kurang sesuai dengan kondisi lereng dan intensitas curah hujan yang cenderung tinggi per tahunnya.

Upaya mitigasi dalam meminimalisir terjadinya longsor di Kecamatan Tawangmangu dapat dilakukan dengan menyajikan informasi tentang kerentanan longsor salah satunya dalam bentuk peta. Keterbatasan data mengenai bahan dalam pembuatan peta menjadi kendala, sehingga perlu adanya metode yang fleksibel dan mudah diterapkan dalam upaya tersebut. Pendekatan logika fuzzy menjadi salah satu metode yang dapat diterapkan dalam

memprediksi kerentanan longsor. Menurut Nithya *et al.* (2012) pendekatan logika fuzzy apabila dikombinasikan dengan pengindraan jauh dan sistem informasi geografis dapat memberikan hasil dengan akurasi yang akurat dalam memprediksi sebaran wilayah rentan akan longsor. Strategi dan pengambilan keputusan dalam pengurangan resiko terjadinya longsor dapat menggunakan pengolahan data spasial mengenai kejadian longsor (Chen, 2017). Kelebihan dari metode logika fuzzy memiliki kemampuan penalaran secara bahas (tidak memerlukan sistem matematis yang rumit), memiliki toleransi terhadap data – data yang kurang lengkap, sangat fleksibel dan menghasilkan akurasi dalam prediksi sebaran kerentanan longsor yang akurat (Akhsar, 2014).

## Metode Penelitian

### *Waktu dan lokasi penelitian*

Penelitian ini dilakukan pada bulan November 2017- Maret 2018 di Kecamatan Tawangmangu, Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah. Pengelolaan dan analisis data dilakukan di Laboratorium Fisika Tanah serta di Pedologi dan Sistem Informasi Sumberdaya Lahan, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.

### *Alat dan bahan penelitian*

Alat yang digunakan untuk kebutuhan survei lapangan berupa klinometer, GPS, alat tulis, kamera, *survey set* dan *ring sampel*, sedangkan untuk pengolahan data digunakan *software* aplikasi berupa MATLAB 2013a, ArcGIS 10.3 dan ENVI.

Bahan yang digunakan berupa peta dasar yang diturunkan dari Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) lembar Poncol, Ngrambe, Tawangmangu dan Karangpandan skala 1:25.000, data curah hujan 2007- 2016 dari B2P2TOOT Tawangmangu dan Balai Besar Pertanian Provinsi di Tawangmangu, Peta Jenis Tanah skala 1:150.000 dari BAPPEDA Kab. Karanganyar, citra landsat 8 oli perekaman Oktober 2015, *Digital Elevation Model* (DEM) 12.5M, Peta Geologi Lembar Ponorogo 1997, data titik kejadian tanah longsor dari BPBD dan data tanah dari hasil survei lapangan.

### *Tahapan penelitian*

Penelitian dilaksanakan dengan beberapa tahapan yaitu tahap persiapan, tahap pembuatan *rule fuzzy*, tahap pembuatan satuan peta lahan (SPL) guna survei lapangan, tahap survei lapangan, tahap pembuatan peta longsor dan tahap terakhir validasi. Pada tahap persiapan dilakukan perumusan masalah di lokasi penelitian. Studi literatur untuk mengetahui permasalahan yang ada tentang longsor di lokasi penelitian dan penentuan metode penelitian yang digunakan. Pada tahap persiapan dilakukan pengumpulan data sekunder yang digunakan sebagai pembuatan peta yang meliputi pembuatan peta administrasi, SPL, lereng, ketinggian tempat, penggunaan lahan, curah hujan, jenis tanah dan kerentanan longsor. Penentuan variabel *input* dan *output* sebagai nilai fuzzy yang digunakan untuk kelas tiap parameter yang mempengaruhi terjadinya longsor. Variabel didapatkan dari studi literatur, selain itu variabel juga dipilih berdasarkan kondisi lokasi penelitian yang dapat diidentifikasi secara langsung seperti: kemiringan lereng, ketinggian tempat, penggunaan lahan, curah hujan dan karakteristik jenis tanah.

Pengkelasan untuk kerentanan longsor menurut studi literatur terbagi menjadi 5 kelas yang meliputi: tidak rentan, kerentanan rendah, kerentanan sedang, kerentanan tinggi dan sangat rentan. Variabel *input* yang digunakan disajikan pada Tabel 1, sedangkan untuk variabel *output* disajikan pada Tabel 2. Pada tahap pembuatan *rule fuzzy* ditentukan aturan – aturan dari hasil konversi variabel *input* ke variabel *output*. Aturan tersebut merupakan kemungkinan terjadinya longsor dari parameter yang mempengaruhi terjadinya longsor di lokasi penelitian. Tahap selanjutnya pembuatan SPL, SPL dibuat menggunakan metode tumpang susun (*overlay*) yang terdiri dari peta kemiringan lereng, bentuk lahan dan geologi (BBSDLP, 2016).

Hasil dari *overlay* didapatkan 16 SPL di lokasi penelitian. Tahapan pembuatan SPL bertujuan untuk menentukan titik pengamatan dan pengambilan data dilokasi penelitian, serta menentukan batasan – batasan wilayah survei. Tahapan survei lapangan dilakukan untuk mendapatkan data lapangan seperti kondisi

penggunaan lahan, kemiringan lereng, ketinggian tempat, data tanah dari pengamatan lapangan dan pengambilan sampel tanah serta

data curah hujan di lokasi pengamatan. Survei lapangan juga dilakukan sebagai validasi dari peta longsor yang telah dibuat.

Tabel 1. Variabel *input* (parameter pengaruh kerentanan longsor).

<b>Kemiringan Lereng</b>			
No.	Kelas	Lereng (%)	Nilai Linguistik
1.	Datar	0 – 8	$x \leq 8$
2.	Landai	8 – 15	$8 \leq x \leq 15$
3.	Agak curam	15 – 25	$15 \leq x \leq 25$
4.	Curam	25 – 40	$25 \leq x \leq 40$
5.	Sangat curam	>40	$x > 40$
<b>Ketinggian Tempat</b>			
No.	Kelas	Tinggi (m dpl)	Nilai Linguistik
1.	Sangat rendah	<1000	$x \leq 1000$
2.	Rendah	1000 – 1500	$1000 \leq x \leq 1500$
3.	Sedang	1500 – 2000	$1500 \leq x \leq 2000$
4.	Tinggi	2000 – 2500	$2000 \leq x \leq 2500$
5.	Sangat tinggi	>2500	$x > 2500$
<b>Penggunaan Lahan</b>			
No.	Kelas	Jenis Penggunaan lahan	Nilai Linguistik
1.	Rendah	Hutan	$x \leq 10$
2.	Sedang	Kebun dan semak	$10 \leq x \leq 30$
3.	Tinggi	Sawah irigasi dan pemukiman	$30 \leq x \leq 50$
4.	Sangat Tinggi	Tegalan	$x > 50$
<b>Jenis Tanah</b>			
No.	Kelas	Jenis Tanah	Nilai Linguistik
1.	Kurang peka	Alfisol	$x \leq 1000$
2.	Peka	Andisol dan vertisol	$1000 \leq x \leq 1500$
3.	Sangat peka	Inceptisol dan Entisol	$1500 \leq x \leq 2000$
<b>Curah Hujan</b>			
No.	Kelas	Curah Hujan (mm th <sup>-1</sup> )	Nilai Linguistik
1.	Rendah	1500 – 1750	$x \leq 1750$
2.	Sedang	1750 – 2000	$1750 \leq x \leq 2000$
3.	Tinggi	2000 – 2500	$2000 \leq x \leq 2500$

Sumber: Effendi dan Haryanto (2016).

Tabel 2. Variabel *output* (parameter pengkelasan kriteria kerentanan longsor).

No.	Kelas Kerentanan Longsor	Nilai Linguistik
1.	Tidak Rentan	$x \leq 3,40$
2.	Rendah	$3,40 \leq x \leq 4,50$
3.	Sedang	$4,50 \leq x \leq 5,40$
4.	Tinggi	$5,40 \leq x \leq 7,00$
5.	Sangat Rentan	$x > 7,00$

Sumber: Akhsar (2014).

Tahapan selanjutnya merupakan tahapan pembuatan peta longsor, setelah data yang dibutuhkan dalam pembuatan peta didapatkan seperti peta kemiringan lereng, ketinggian tempat, penggunaan lahan, curah hujan dan jenis tanah kemudian dilakukan *overlay* peta. Hasil dari *overlay* peta kemudian dianalisis menggunakan metode logika fuzzy dengan memasukan data spasial kedalam *Fuzzy Logic Tool box* yang berada pada aplikasi MATLAB. Hasil dari logika fuzzy tersebut kemudian dimasukan kedalam *attribute table* peta longsor

yang telah dibuat untuk mengidentifikasi dan mengelompokkan sebaran kerentanan longsor di lokasi penelitian. Hasil akhir yang telah didapatkan, perlu dilakukan uji validasi untuk mengetahui keakuratan peta yang dibuat menggunakan pendekatan logika fuzzy. Validasi dilakukan dengan menggunakan metode *accuration assessment* yaitu membandingkan data pembacaan pada peta dengan kondisi lapangan yang mempengaruhi terjadinya longsor. Titik observasi sebagai validasi terdapat 16 titik yang diperoleh dari BPBD Kab. Karanganyar. Titik tersebut merupakan titik terjadinya longsor di lokasi penelitian dalam kurun waktu 10 tahun terakhir. Validasi tersebut menggunakan rumus:

$$Aa = \frac{\sum \text{titik cocok dengan groundcheck}}{\sum \text{semua titik pengamatan}} \times 100\%$$

Keterangan: Aa = *Accuration Assessment*

Menurut National Park Service *Vergetation Inventory* (NPSVI) tahun 2010, hasil *accuration assessment* dikatakan akurat apabila nilai yang dihasilkan >80%, jika nilai <80% maka data yang dihasilkan tidak akurat.

## Hasil dan Pembahasan

### *Karakteristik lokasi penelitian*

Karakteristik lokasi penelitian ini berdasarkan topografi (lereng dan ketinggian tempat), penggunaan lahan, jenis tanah dan curah hujan. Kondisi topografi di lokasi penelitian sangat beragam baik dari kemiringan lereng dan ketinggian tempat, dikarenakan letak lokasi penelitian yang berada di Lereng Gunung Lawu (Tabel 3).

Tabel 3. Kemiringan lereng dan ketinggian tempat Kecamatan Tawangmangu

<b>Kemiringan Lereng</b>				
No.	Lereng (%)	SPL	Luas (ha)	Presentase (%)
1.	0 – 8	7, 9, 10 dan 13	2.459,8	39,33
2.	>8 – 15	8, 11 dan 12	1.949,8	31,18
3.	>15 – 25	1, 2, 3, 4, 6 dan 16	1.477,7	23,63
4.	>25 – 40	5, 14 dan 15	337,8	5,40
5.	>40	-	28,6	0,46
Jumlah			6.253,7	100
<b>Ketinggian Tempat</b>				
No.	Tinggi (m dpl)	SPL	Luas (ha)	Presentase (%)
1.	<1000	1, 7, 8, 9, 10, 11, 12 dan 13	3.446,40	55,11
2.	>1000-1500	3, 14, 15 dan 16	2.069,10	33,08
3.	>1500-2000	2, 4, 5 dan 6	428,30	6,85
4.	>2000-2500	-	203,60	3,25
5.	>2500	-	106,38	1,71
Jumlah			6.253,78	100

Penggunaan lahan menjadi salah satu parameter yang berpengaruh dalam terjadinya tanah longsor. Berdasarkan hasil klasifikasi dari Peta RBI yang dikombinasikan dengan hasil citra landsat serta peta analog yang kemudian dilakukan survei lapangan didapatkan penggunaan lahan yang berada di lokasi penelitian (Tabel 4). Data curah hujan yang

diperoleh dari pos – pos hujan yang berada di lokasi penelitian menunjukkan bahwa terdapat dua kelas curah hujan yang berada di lokasi penelitian (Tabel 5). Karakteristik jenis tanah yang berada di lokasi penelitian, berdasarkan peta dari BAPPEDA dengan skala 1:150000 terbagi menjadi tiga ordo tanah yang meliputi: alfisol, andisol dan inceptisol (Tabel 6).

Tabel 4. Penggunaan lahan di Kecamatan Tawangmangu.

No.	Penggunaan Lahan	SPL	Luas (ha)	Presentase (%)
1.	Hutan	4	1.420,20	22,60
2.	Semak	3, 5 dan 14	262,12	4,19
3.	Kebun	1, 10 dan 16	1.455,21	23,26
4.	Pemukiman	11 dan 13	994,12	15,70
5.	Sawah irigasi	7 dan 12	711,11	11,37
6.	Tegalan	2, 6, 8, 9 dan 15	1.431,10	22,88
Jumlah			6.253,7	100

Tabel 5. Kelas curah hujan di Kecamatan Tawangmangu.

No.	Curah Hujan (mm/th)	Kelas	SPL
1.	<1750	Rendah	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15 dan 16
2.	>1750 – 2000	Sedang	-
3.	>2000 – 2500	Tinggi	14

Tabel 6. Karakteristik tanah di Kecamatan Tawangmangu.

SPL	Tanah	Tekstur	Permeabilitas	Struktur
1	Andisol	lempung berdebu	sangat cepat	gumpal membulat
2	Andisol	lempung berdebu	cepat	gumpal membulat
3	Andisol	lempung berpasir	sangat cepat	gumpal membulat
4	Andisol	lempung berpasir	cepat	gumpal membulat
5	Andisol	lempung berpasir	sangat cepat	gumpal membulat
6	Andisol	lempung liat berdebu	agak cepat	gumpal membulat
7	Inceptisol	lempung berdebu	agak lambat	gumpal bersudut
8	Inceptisol	lempung berdebu	agak cepat	gumpal bersudut
9	Inceptisol	lempung berdebu	sangat cepat	gumpal bersudut
10	Inceptisol	lempung berdebu	agak lambat	gumpal membulat
11	Alfisol	lempung	agak cepat	gumpal bersudut
12	Inceptisol	lempung berdebu	lambat	gumpal membulat
13	Alfisol	lempung berliat	sangat cepat	gumpal membulat
14	Andisol	lempung berpasir	agak cepat	gumpal membulat
15	Inceptisol	lempung berdebu	sangat cepat	gumpal membulat
16	Andisol	lempung liat berdebu	sangat cepat	gumpal membulat

### ***Kerentanan longsor di Kecamatan Tawangmangu***

Pendekatan logika fuzzy memiliki kelebihan dalam mengelola dan mengembangkan metode untuk mengklasifikasikan longsor secara cepat dan efisien, serta dapat memberikan keputusan dalam perencanaan wilayah (Aksoy, 2012). Pendekatan logika fuzzy juga efektif dalam memetakan kerentanan longsor dan

menghasilkan hasil yang dapat diterima jika logika fuzzy diterapkan di area baru yang secara signifikan lebih besar tanpa perubahan penggunaan parameter (Zhu, 2014). Hasil dari pendekatan logika fuzzy menunjukkan bahwa di Kecamatan Tawangmangu terbagi atas empat kriteria kerentanan longsor, yang meliputi: tidak rentan dengan indeks nilai  $\leq 3,40$ , kerentanan rendah dengan indeks nilai  $> 3,40 - \leq 4,50$ , kerentanan sedang dengan indeks nilai  $> 4,50 -$

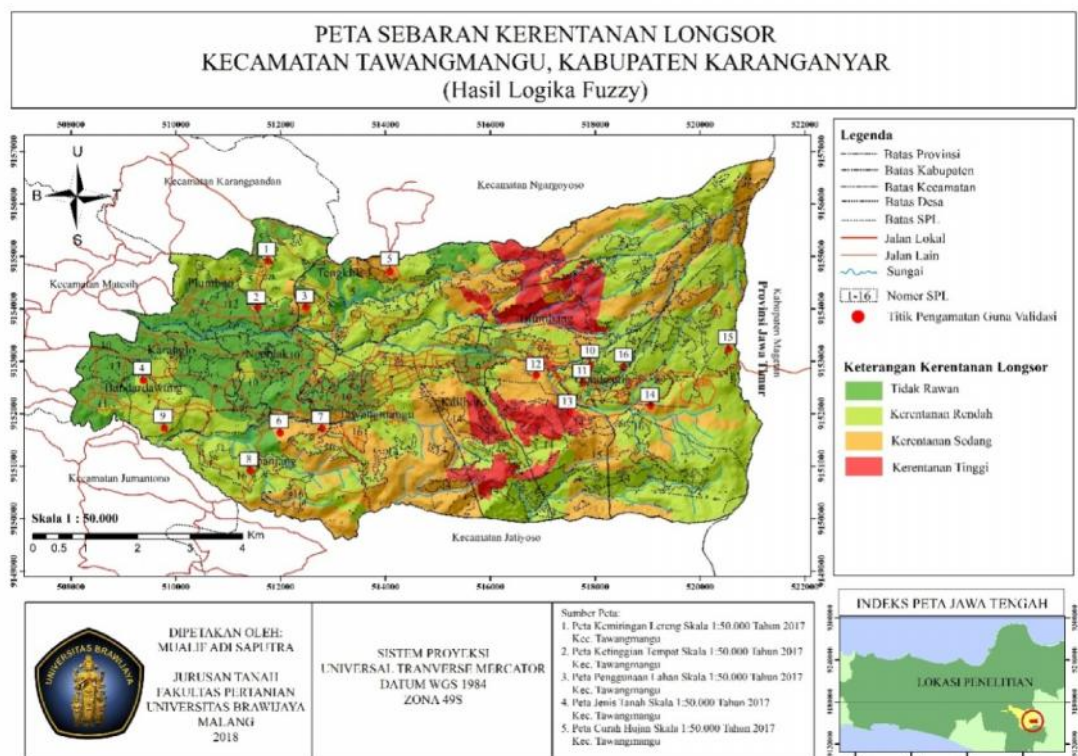
$\leq 5,40$  dan kerentanan tinggi dengan indeks nilai  $> 5,40 - \leq 7,00$ . Peta hasil dari pengolahan menggunakan logika fuzzy disajikan pada Gambar 1. Kriteria tidak rentan tersebar pada SPL 7, 9, 10, 11 dan 12 dengan luas keseluruhan 1.151,95 ha yang berarti 18,43% wilayah di Kecamatan Tawangmangu masuk dalam kelas tidak rentan. Kriteria ini dicirikan dengan kondisi lereng yang cenderung datar yaitu 0-8% dan kondisi ketinggian tempat  $< 1000$  m dpl, sehingga tidak akan menimbulkan bencana longsor. Curah hujan yang rendah yaitu  $579,64 \text{ mm th}^{-1}$  juga membuat wilayah ini aman dari bencana longsor.

Kerentanan rendah tersebar pada SPL 3, 4, 5, 6, 8, 13 dan 16 dengan luas keseluruhan 3.149,72 Ha atau 50,36% wilayah Kecamatan Tawangmangu masuk kedalam kelas kerentanan longsor rendah. Wilayah ini dicirikan dengan kemiringan lereng yang cenderung landai 8-15% dan tinggi  $< 1000$  m dpl. Penggunaan lahan yang berada pada kriteria ini didominasi hutan dengan tutupan lahan pohon cemara dan pinus. Rendahnya curah hujan pada kriteria ini yaitu  $579,64 \text{ mm}$

$\text{th}^{-1}$  juga mempengaruhi tingkat kerentanan longsor ke kriteria rendah.

Kerentanan sedang tersebar si SPL 1, 2 dan 15 dengan luas keseluruhan 1.494,33 atau 23,89% wilayah di Kecamatan Tawangmangu masuk kedalam kelas sedang. Kriteria ini dicirikan dengan kondisi wilayah dengan kemiringan lereng 15 – 25% dan tinggi 1000 – 1500 m dpl. Penggunaan lahan pada kriteria ini didominasi tegalan dengan tutupan lahan tanaman bawang prei. Curah hujan rerata per tahun di wilayah ini rendah dengan nilai  $1.240,65 \text{ mm/th}$ .

Kerentanan tinggi hanya terdapat pada SPL 14 dengan luas 457,78 Ha atau 7,32% wilayah di Kecamatan Tawangmangu masuk kedalam kelas kerentanan longsor tinggi. Kriteria ini dicirikan dengan kemiringan lereng 25 – 40% dan  $> 40\%$  dan tinggi 1000 – 1500 m dpl. Penggunaan lahan yang berada pada kriteria ini didominasi oleh kebun yang ditanami dengan tanaman campuran seperti pohon mahoni, bambu dan pisang. Curah hujan yang tinggi  $2.237,6 \text{ mm th}^{-1}$  menjadi salah satu pemicu terjadinya longsor di wilayah ini.



Gambar 1. Peta sebaran kerentanan longsor di Kecamatan Tawangmangu

### Validasi peta kerentanan longsor

Uji validasi peta yang dilakukan di 16 titik observasi yang tersebar di lokasi penelitian baik di lahan pertanian, hutan maupun pemukiman, didapatkan hasil akurasi yang menunjukkan nilai keakuratan sebesar 93,75% yang berarti pendekatan logika fuzzy tersebut dapat diterapkan/ digunakan dalam upaya mitigasi kerentanan longsor yang berada di Kecamatan Tawangmangu. Walaupun terdapat sisa 6,25% hasil yang tidak akurat, hal itu tidak mengurangi tingkat keakuratan peta yang dibuat dengan menggunakan pendekatan logika fuzzy karena sudah lebih dari 80%.

### Kesimpulan

Kerentanan longsor yang berada di Kecamatan Tawangmangu terbagi menjadi empat kriteria yang meliputi: tidak rentan (SPL 7, 9, 10, 11 dan 12 dengan parameter yang paling berpengaruh penggunaan lahan), kerentanan rendah (SPL 3, 4, 5, 6, 8, 13 dan 16 dengan parameter yang berpengaruh penggunaan lahan), kerentanan sedang (SPL 1, 2 dan 15 dengan parameter yang berpengaruh kemiringan lereng) dan kerentanan tinggi (SPL 14 dengan parameter yang berpengaruh curah hujan). Penggunaan pendekatan logika fuzzy untuk memprediksi sebaran kerentanan longsor yang berada di Kecamatan Tawangmangu dapat diterima dan diterapkan karena memiliki hasil dengan tingkat akurasi sebesar 93,75% yang berarti >80% yang artinya hasil tersebut akurat.

### Daftar Pustaka

- Akshar, A. 2014. Penentuan Tingkat Kerentanan Longsor Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*. Techsi. Teknik Informatika. Fakultas Ilmu Komputer. Universitas Sumatera Utara.
- Aksoy, B. and Ercanoglu, M. 2012. Landslide identification and classification by object-based image analysis and fuzzy logic: an example from the azdavay region (Kastamonu, Turkey). *Computers and Geoscience*. 87-98.
- BAPPEDA Karanganyar. 2013. Perda Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Karanganyar Tahun 2013 – 2032. Karanganyar: Bappeda Karanganyar.
- BBSDLP. 2016. Petunjuk Teknis Pedoman Survei dan Pemetaan Tanah Tingkat Semi Detail Skala 1:50.000. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian: Bogor.
- Chen, W., Hong, H., Ilia, I., Tsangaratos, P. and Xu, C. 2017. A hybrid fuzzy weight of evidence method in landslide susceptibility analysis on the Wuyuan Area, China. *Geomorphology* S0169-555X(17)30134-4.
- Effendi, A.Y. dan Haryanto, T. 2016. Pembuatan peta daerah rentan bencana longsor dengan menggunakan metode *Fuzzy Logic*. *Jurnal Teknik ITS* 5(2): A714.
- Karnawati, D. 2001. Bencana Alam Gerakan Tanah Indonesia Tahun 2000 (Evaluasi dan Rekomendasi). Jurusan Teknik Geologi. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- National Park Service Vegetation Inventory (NPSVI). 2010. Thematic Accuracy Assessment Procedures. U.S. Department of the Interior National Park Service. Colorado, USA.
- Nithya, S.E., Prasanna, P.R. dan Eswaramoorthi, S. 2012. Landslide susceptibility zonation using fuzzy logic for Kundahpallam Watershed, Nilgris, *European Journal of Scientific Research* 78(1): 48 – 56.
- Soemarno, Wulansari, D.N. dan Priyono, S. 2009. Tanah Longsor: Faktor Penyebab dan Problematikanya. Penerbit PPSUB, Malang
- Zhu, A-X., Wang, R., Qiao, J., Qin, C., Chen, Liu J., Du, F., Lin, Y. and Zhu, T. 2014. An Expert Knowledge-based Approach to Landslide Susceptibility Mapping Using GIS and Fuzzy Logic. *Geomorphology*. GEOMOR-04647 (11).