

**ANALISIS DAN VISUALISASI PEMETAAN RISIKO BENCANA TANAH LONGSOR DI KABUPATEN KARANGANYAR MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DENGAN METODE PERMEN PU DAN FUZZY AHP**

Wahyu Adi Rochmadi<sup>\*)</sup>, Hana Sugiasu Firdaus, Yasser Wahyuddin

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
 Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788  
 Email: wahyuadirochmadi@students.undip.ac.id

**ABSTRAK**

Kabupaten Karanganyar adalah salah satu kabupaten di Jawa Tengah yang termasuk dalam kategori tinggi dalam risiko bencana tanah longsor menurut Indeks Rasio Bencana Indonesia (IRBI) tahun 2018. Berdasarkan rekap data bencana Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Karanganyar pada tahun 2018 telah terjadi bencana sebanyak 213 kejadian dengan rincian 93 tanah longsor, 37 angin ribut, 55 kebakaran, 8 banjir, 1 tanah gerak, 19 rumah roboh dan 4 laka/mayat. Metode pembuatan ancaman tanah longsor dengan menggunakan metode PERMEN PU dan *Fuzzy AHP* dan dilakukan validasi lapangan. Pembuatan peta kerentanan dan peta kapasitas menggunakan telaah dokumen PERKA BNPB No. 2 Tahun 2012 dan telaah dokumen penelitian sebelumnya. Pembuatan peta risiko bencana tanah longsor dengan perkalian matriks VCA (*Vulnerability Capacity Analysis*) berdasarkan dengan PERKA BNPB No.2 Tahun 2012. Pemetaan risiko bencana tanah longsor menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan metode pembobotan dan tumpang tindih (*overlay*) antar parameter penyusunnya menggunakan perangkat lunak SIG. Pengolahan peta ancaman metode PERMEN PU diperoleh 0,559 % tingkat tinggi, 25,173% tingkat sedang, 73,744 % tingkat rendah dan 0,523 % tingkat sangat rendah. Untuk pengloahan peta ancaman metode Fuzzy AHP diperoleh sebesar 1,05 % tingkat tinggi, 26,90 % tingkat sedang, atau 70,432 % tingkat rendah dan 1,614 % tingkat sangat rendah. Untuk peta kerentanan diperoleh 6 kecamatan tingkat kerentanan tinggi, 6 kecamatan tingkat kerentanan sedang, dan 5 kecamatan tingkat kerentanan rendah. Peta kapasitas diperoleh 4 kecamatan tingkat kapasitas tinggi, 5 kecamatan tingkat kapasitas sedang, 8 kecamatan tingkat kapasitas rendah. Sedangkan untuk pemetaan risiko bencana diperoleh 74,26% rendah, 23,48% sedang, dan 2,25 % tinggi. Visualisasi hasil pemetaan dihasilkan dengan menggunakan *software ArcGIS Online* dalam uji sistem dan uji *usability* memiliki hasil yang baik.

**Kata Kunci:** *Fuzzy AHP, PERMEN PU, SIG, Tanah Longsor, VCA.*

**ABSTRACT**

*Karanganyar Regency is one of the districts in Central Java which is included in the high category in the risk of landslides according to the Indonesian Disaster Ratio Index (IRBI) 2018. Based on the BPBD disaster data recap of Karanganyar Regency in 2018 there were 213 disasters with details of 93 landslide, 37 windstorm, 55 fires disaster, 8 floods, 1 movable ground, 19 houses collapsed and 4 accident. The method of making landslide hazard using the PERMEN PU and Fuzzy AHP methods and field validation. Preparation of vulnerability maps and capacity maps using document review PERKA BNPB No. 2 Tahun 2012 and review previous research documents. Making a landslide disaster risk map by multiplying the VCA (Vulnerability Capacity Analysis) matrix based on PERKA BNPB No.2 of 2012. The mapping of landslide risk using Geographical Information System (GIS) with a weighting method and overlaps between the constituent parameters using GIS software. In the processing of the hazard map method PERMEN PU obtained 0.559% high level, 25.173% medium level, 73.744% low level and 0.523% very low level. For the processing of the hazard map using Fuzzy AHP method, it was obtained 1.05% high level, 26.90% medium level, or 70.432% low level and 1.614% very low level. For the vulnerability map, it was obtained 6 sub-districts with high vulnerability levels, 6 sub-districts with medium vulnerability levels, and 5 sub-district with low vulnerability levels. The capacity map shows 4 sub-districts at high capacity level, 5 sub-districts at medium capacity level, and 8 sub-districts at low capacity level. Meanwhile, for disaster risk mapping, it was found that 74.26% area were low, 23.48% area were moderate, and 2.25% area were high. Visualization of the results of the mapping generated using software ArcGIS Online in the system test and usability test has good results.*

**Keywords:** *Fuzzy AHP, PERMEN PU, GIS, Landslide Hazard, VCA.*

<sup>\*)</sup> Penulis Penanggung Jawab

## I. Pendahuluan

### I.1 Latar Belakang

Kabupaten Karanganyar adalah salah satu kabupaten di Jawa Tengah yang termasuk dalam kategori tinggi dalam risiko bencana tanah longsor menurut Indeks Rasio Bencana Indonesia (IRBI) tahun 2018. Berdasarkan rekap data bencana BPBD Kabupaten Karanganyar pada tahun 2018 telah terjadi bencana sebanyak 213 kejadian dengan rincian 93 tanah longsor, 37 angin ribut, 55 kebakaran, 8 banjir, 1 tanah gerak, 19 rumah roboh dan 4 laka/mayat.

Dalam penyusunan peta ancaman tanah longsor pembobotan dan *overlay* digunakan untuk mendapatkan nilai kerapatan kejadian tanah longsor pada setiap parameter penyebab tanah longsor, sehingga didapatkan daerah ancaman tanah longsor dengan nilai dari parameter gabungan yang digunakan dalam pembuatan peta (Hamza & Raghuvanshi, 2017). Berdasarkan parameter-parameter diatas peneliti menggunakan metode pembobotan berdasarkan PERMEN PU dengan modifikasi dan metode *Fuzzy AHP* untuk pembobotan dan *overlay* parameter untuk mendapatkan peta ancaman bencana tanah longsor. Penggunaan parameter dan metode tersebut digunakan karena ketersediaan data yang ada dan disesuaikan dengan keadaan wilayah penelitian.

Pada Peta Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Karanganyar, penyusunan peta risiko bencana dilakukan oleh Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Karanganyar dengan UU No 24 Tahun 2007 sebagai Dasar Hukum. Penanggulangan Bencana yang nantinya digunakan dalam penyusunan mitigasi bencana. Menurut pasal 35 huruf e dalam UU No. 24 Tahun 2007 tentang penanggulangan kebencanaan, Yang dimaksud dengan "analisis risiko bencana" adalah kegiatan penelitian dan studi tentang kegiatan yang memungkinkan terjadinya bencana. Peta ancaman bencana tanah longsor dalam Peraturan Daerah Rencana Tata Ruang Wilayah Ayat (8) dibuat dengan memperhatikan pemanfaatan ruang dan digunakan untuk menentukan daerah evakuasi untuk daerah rawan bencana longsor. Sehingga penyusunan peta risiko dapat digunakan pemerintah sebagai salah satu pertimbangan dalam pengambilan kebijakan dalam penyusunan peta RTRW kabupaten/kota.

Ditinjau dari produk dokumen Perda RTRW Kabupaten Karanganyar Nomor 1 Tahun 2013, Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana masih menjadi rujukan umum sedangkan kedua dokumen rujukan lainnya belum dipertimbangkan. Dalam hal ini, khususnya Permen PU No. 22/PRT/M/2007 yang merupakan salah satu pedoman pembuatan peta ancaman tanah longsor, terlihat belum menjadi acuan dalam pembuatan ancaman bencana tanah longsor. Oleh karena itu dilakukan pembuatan peta risiko bencana tanah longsor dengan metode yang belum dilakukan dan dengan data yang terbaru.

Dalam penelitian ini metode yang digunakan untuk pembobotan yaitu metode *Fuzzy AHP* dan

PERMEN PU No. 22/PRT/M/2007. Hasil dari pembuatan peta ancaman bencana tanah longsor tersebut dibandingkan dengan data validasi lapangan. Pemetaan kerentanan dan pemetaan kapasitas didasarkan pada telaah dokumen PERKA BNPB No. 2 Tahun 2012 dan penelitian kerentanan berdasarkan pembobotan parameter dan *overlay*. Hasil dari peta ancaman, kerentanan dan kapasitas dilakukan perkalian matriks VCA (*Vulnerability Capacity analysis*) sesuai dengan PERKA BNPB No. 2 Tahun 2012 untuk mendapatkan hasil Peta Risiko Bencana.

Dalam penjelasan diatas yang melatarbelakangi peneliti untuk mengambil judul penelitian "Analisis dan Visualisasi Pemetaan Risiko Bencana Tanah Longsor Di Kabupaten Karanganyar Menggunakan Sistem Informasi Geografis Dengan Metode Permen PU Dan *Fuzzy AHP*". Penelitian diharapkan dapat menyajikan data peta tentang risiko bencana tanah longsor dan dapat digunakan untuk pertimbangan dalam pengambilan kebijakan.

### I.2 Rumusan Masalah

Penelitian kali ini mengangkat beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana tingkat ancaman bencana tanah longsor di Kabupaten Karanganyar dengan metode *Fuzzy AHP* dan PERMEN PU No. 22/PRT/M/2007?
2. Bagaimana penyusunan tingkat kapasitas dan kerentanan bencana tanah longsor di Kabupaten Karanganyar?
3. Bagaimana penyusunan tingkat risiko tanah longsor dan perencanaan desain sistem informasi kebencanaan tanah longsor di Kabupaten Karanganyar menggunakan Arcgis *online*?

### I.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan akhir sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui tingkat ancaman bencana tanah longsor di Kabupaten Karanganyar dengan metode *Fuzzy AHP* dan PERMEN PU No. 22/PRT/M/2007.
2. Untuk mengetahui bagaimana penyusunan tingkat kapasitas dan kerentanan bencana tanah longsor di Kabupaten Karanganyar.
3. Untuk mengetahui tingkat risiko bencana tanah longsor dan bagaimana perencanaan desain sistem informasi kebencanaan tanah longsor di Kabupaten Karanganyar menggunakan Arcgis *online*.

### I.4 Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki batasan yang diharapkan tidak terlalu luas dan fokus pada tujuan tertentu. Batasan penelitian ini adalah:

1. Wilayah studi penelitian tugas akhir adalah Kabupaten Karanganyar. Unit terkecil penelitian adalah wilayah kecamatan.

2. Studi bencana yang akan dikaji adalah daerah ancaman tanah longsor. Metode yang akan digunakan dalam penelitian yaitu, metode Permen PU No. 22/PRT/M/2007 dan *Fuzzy AHP*.
3. Parameter yang digunakan dalam pemetaan daerah ancaman longsor yaitu kelerengan, curah hujan, jenis tanah, jenis batuan, keberadaan sesar, keberadaan jalan yang memotong lereng dan penggunaan lahan.
4. Parameter pemetaan kerentanan menggunakan 4 komponen yaitu komponen demografi, komponen ekonomi, komponen fisik, dan komponen lingkungan.
5. Parameter pemetaan kapasitas disusun menggunakan 4 parameter yaitu parameter jumlah tenaga kesehatan, jumlah sarana kesehatan, sosialisasi bencana dan usaha antisipasi bencana.
6. Pemetaan risiko bencana mengacu pada Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana No. 2 Tahun 2012 dan Penelitian terdahulu.
7. Validasi penelitian yaitu menggunakan data pengukuran lapangan dan data kejadian bencana sebelumnya. Validasi dilakukan pada kecamatan yang memiliki tingkat ancaman bencana yang relatif tinggi.
8. Pengambilan titik sampel yang dilakukan pada penelitian penelitian ini menggunakan *purpose sampling*.
9. Skala informasi peta yang dihasilkan adalah 1:100.000
10. Pembuatan *WebGIS* menggunakan Arcgis Online untuk menampilkan hasil pengolahan, dimana dilakukan dilakukan uji *website* seperti uji sistem, uji fungsi, uji tampilan, dan uji *usability*.

## II. Tinjauan Pustaka

### II.1 Wilayah Penelitian

Wilayah Kabupaten Karanganyar berbatasan dengan tiga kabupaten, satu kota madya, dan satu batas provinsi.

1. Sebelah Utara : Kabupaten Sragen.
2. Sebelah Timur : Provinsi Jawa Timur.
3. Sebelah Selatan : Kabupaten Wonogiri dan Kabupaten Sukoharjo.
4. Sebelah Barat : Kabupaten Boyolali.

Lokasi lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar II-1**.



**Gambar II-1** Wilayah Studi Penelitian (Penulis,2020)

### II.2 DEM (Digital Elevation Model)

DEM (Digital Elevation Model) adalah sebuah model, sistem, metode, dan alat dalam mengumpulkan, memproses, dan menyajikan informasi suatu area. Susunan nilai digital yang mewakili bentuk spasial dari karakteristik kondisi situasi tersebut. Distribusi diwakili oleh nilai koordinat yaitu X,Y, dan ketinggian diwakili oleh sistem koordinat Z.(J.Doyle, 1978).

### II.3 TerraSAR-X

TerraSAR merupakan sebuah satelit radar yang menggunakan gelombang X. Citra Terra SAR memiliki ketelitian hingga 1 meter. Citra satelit ini merupakan sebuah kerjasama antara the German Aerospace Center (DLR) dengan Europe's Leading Satellite System Astrium (GmbH). (AIRBUS, 2020)

### II.4 Inverse Distance Weighting (IDW)

Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) adalah sebuah metode deterministic yang memperhitungkan sebuah titik disekitarnya yang memiliki suatu nilai. Pada metode ini diasumsikan bahwa nilai interpolasi yang didapatkan merupakan nilai yang memiliki nilai yang mirip dengan data sampel yang terdekat daripada yang jauh. Bobot (*weight*) akan berubah secara linier sesuai dengan jarak dengan data sebuah sampel data. Bobot disini tidak dipengaruhi oleh letak dari sebuah data yang ada. Titik-titik disebelahnya dapat diketahui melalui data titik-titik yang ada disebelahnya. (Supriatna, 2018)

### II.5 Bencana

Bencana adalah kejadian atau peristiwa alam yang disebabkan oleh faktor alam atau faktor manusia yang dapat mengganggu dan mengancam kehidupan masyarakat. Kejadian dapat menyebabkan timbulnya korban jiwa manusia, dampak ekonomi, lingkungan dan dampak psikologis (BNPB, 2012).

### II.6 Bencana Tanah Longsor

Gerakan massa merupakan gerakan dari massa tanah yang besar berada di sepanjang bidang longsor kritisnya. Longsoran merupakan gerakan massa tanah yang berlebihan atau dalam jumlah besar yang melorot ke bawah dari material pembentuk lereng, yang dapat berupa tanah, batu, tanah timbunan atau campuran material lain. (Hardiyatmo, 2012)

### II.7 Fuzzy AHP

Metode Fuzzy AHP adalah metode analisis yang dikembangkan dari metode AHP. Metode ini digunakan untuk menangani kriteria kualitatif dan kuantitatif, metode ini dianggap lebih baik dalam hal mendeskripsikan keputusan yang samar-samar daripada AHP. (Buckley, 1985).

### II.8 PERMEN PU No. 22/PRT/M/2007

Pedoman penataan ruang kawasan rawan bencana longsor ini disusun dalam rangka melengkapi norma, standar, prosedur dan manual bidang penataan ruang yang telah ada baik berupa pedoman, pedoman teknis,

petunjuk pelaksanaan maupun petunjuk teknis bidang penataan ruang. Salah satu dari pedoman tersebut adalah pedoman penyusunan dan peninjauan kembali rencana tata ruang 2 wilayah provinsi, kabupaten, dan kawasan perkotaan yang tertuang dalam Keputusan Menteri Kimpraswil No. 327/KPTS/M/2002 tentang Penetapan Enam Pedoman Bidang Penataan Ruang.

Untuk melengkapi pedoman bidang penataan ruang yang telah ada, pedoman ini juga ditujukan untuk: (i) memberi acuan bagi pemerintah daerah kabupaten/kota dalam melaksanakan penataan ruang kawasan rawan bencana longsor yang dapat ditetapkan sebagai kawasan strategis kabupaten/kota apabila kawasan tersebut berada di dalam wilayah kabupaten/kota; (ii) memberi acuan bagi pemerintah daerah provinsi dalam melaksanakan penataan ruang kawasan rawan bencana longsor yang dapat ditetapkan sebagai kawasan strategis provinsi apabila kawasan tersebut berada dalam lintas wilayah kabupaten/kota

### II.9 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem informasi geografis (SIG) dapat di definisikan sebagai suatu kesatuan yang terdiri dari beberapa sumber daya fisik dan logika yang berkenaan dengan objek-objek yang berada di permukaan bumi. Jadi, Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sejenis perangkat lunak, perangkat keras, manusia (subjek), prosedur, basis data, dan fasilitas jaringan komunikasi yang bisa digunakan dalam proses pemasukan, penyimpanan, manipulasi, menampilkan, dan memberikan informasi geografis berikut atribut yang ada dalam data. (Prahasta, 2014).

### II.10 SIG Berbasis Internet

SIG berbasis *website* atau *webGIS* gabungan antara desain grafis, pemetaan, peta digital dengan analisis geografis, pemrograman computer, dan sebuah database yang saling terhubung menjadi satu bagian web *design* dan web pemetaan (Prahasta 2014).

### II.11 Pemetaan Risiko Bencana

Menurut Peraturan Kepala BNPB Tahun 2012 Peta Resiko Bencana adalah gambaran Tingkat Resiko bencana suatu daerah secara spasial dan non spasial berdasarkan Kajian Risiko Bencana suatu daerah. Pengkajian risiko bencana merupakan sebuah pendekatan yang bertujuan untuk memperlihatkan potensi dampak negatif yang diakibatkan dari bencana tersebut. Potensi dampak negatif yang muncul dihitung dari tingkat kerentanan dan kapasitas kawasan tersebut. Potensi dampak negatif yang ditimbulkan dilihat dari jumlah jiwa yang terkena dampak, kerugian, dan kerusakan lingkungan.

### II.12 Teknik *Purpose Sampling*

Menurut (Priyono, 2008) teknik penarikan sampel *purposive* merupakan teknik yang menggunakan kriteria khusus sebagai sampel pada populasi penelitian. Tujuan pengambilan sampling ini adalah agar sesuai dengan tujuan penelitian.

### II.13 Perangkat Lunak Arcgis Online

ArcGIS *Online* adalah pemetaan dan analisis solusi berbasis *cloud*. Perangkat lunak tersebut digunakan untuk membuat peta, analisis data, dan untuk berbagi dan berkolaborasi. Mendapatkan akses ke aplikasi, peta dan data dari seluruh dunia dan alat untuk yang *mobile* di lapangan. Data dan peta kita disimpan dalam infrastruktur yang aman dan pribadi dan dapat dikonfigurasi untuk memenuhi kebutuhan pemetaan dan Teknologi Informasi. (Esri 2020)

## III. Metodologi Penelitian

### III.1 Alat-Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Laptop Dell, Core i3-5005U CPU @2.00Ghz, RAM 8192MB.
2. Kamera *smartphone*.
3. Aplikasi Mobile Topographer.
4. Perangkat lunak ArcMap 10.3.
5. Perangkat lunak Microsoft Office Word 2016.
6. Perangkat lunak Microsoft Office Excel 2010.
7. Perangkat lunak Microsoft Office Visio 2016.

Berikut merupakan Data yang digunakan dalam penelitian, pada tabel.

Tabel III-1 Data Penelitian

No.	Data	Sumber
1	Peta Administrasi Kabupaten Karanganyar	DPU Kab. Karanganyar
2	Peta Tata Guna Lahan Kabupaten Karanganyar.2016	BAPERLITBANG Kab. Karanganyar
3	DEM TerraSAR-X Kabupaten Karanganyar	Badan Informasi Geospasial
4	Peta Jenis Tanah	BAPERLITBANG Kab. Karanganyar
5	Peta Jenis Batuan	BAPERLITBANG Kab. Karanganyar
6	Peta Jaringan Jalan	DPU Kab. Karanganyar
7	Peta keberadaan sesar	Dinas ESDM Provinsi JATENG
8	Data Curah Hujan Kabupaten Karanganyar 2019	BMKG Jawa Tengah
9	Data Kejadian Bencana Tanah Longsor 2016-2019	BPBD Kab. Karanganyar
10	Kecamatan dalam Angka Kabupaten Karanganyar Tahun 2019	Badan Pusat Statistik Kabupaten Karanganyar
11	Wawancara	BPBD, BAPERLITBANG, DPU

### III.2 Tahap Persiapan Penelitian

Tahapan Penelitian adalah sebagai berikut:

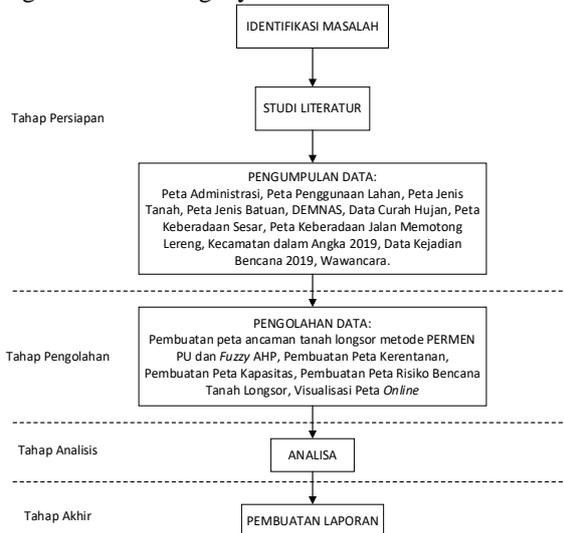
1. Identifikasi Masalah  
Tahap Identifikasi Masalah yaitu untuk menganalisa apa yang ada di wilayah penelitian.
2. Studi Literatur  
Tahap Studi Literatur merupakan tahap untuk mengidentifikasi permasalahan pada wilayah penelitian.
3. Pengumpulan Data  
Pengumpulan data dilakukan pada instansi-instansi terkait pada penelitian.

### III.3 Tahap Pengolahan Data

Pembuatan peta risiko bencana tanah longsor di Kabupaten Karanganyar yang terdiri dari peta ancaman,

peta kerentanan dan peta kapasitas. Metode yang digunakan adalah skoring dan pembobotan pada parameter yang digunakan, pembobotan pada peta ancaman menggunakan metode PERMEN PU No. 22/PRT/M/2007 dan *Fuzzy AHP*. Kemudian peta ancaman, peta kerentanan, dan peta kapasitas dilakukan perkalian matriks VCA berdasarkan PERKA BNPB NO. 2 Tahun 2012.

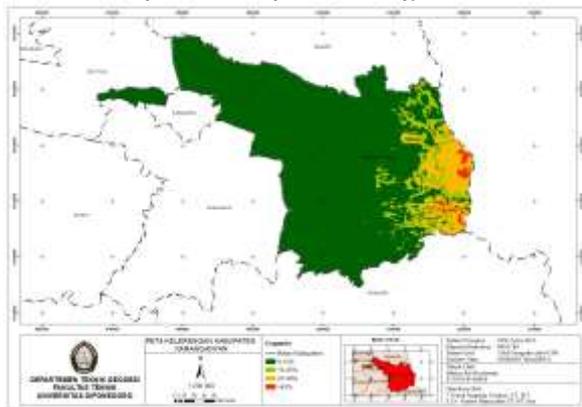
Diagram alir pembuatan peta risiko bencana tanah longsor Kab. Karanganyar.



Gambar III-1 Diagram Alir Penelitian

III.3.1 Pembuatan Peta Kelerengan

Peta Kelerengan diperoleh dari pengolahan DEMNAS (TerraSAR-X), pengolahan dilakukan mengubah data demnas menjadi TIN kemudian membuat kontur dengan interval 25m disesuaikan dengan skala peta yaitu 1:50.000 kemudian diolah dengan menggunakan *tool slope* pada ArcMap 10.3. Berikut merupakan hasil peta kelerengan.



Gambar III-2 Peta Kelerengan

III.3.2 Pembuatan Peta Curah Hujan

Peta curah hujan dihasilkan dari proses metode IDW. Data yang digunakan adalah data curah hujan tahunan dari Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika Semarang dan dari Dinas Pekerjaan Umum Kab. Karanganyar. Berikut merupakan hasil peta curah hujan.



Gambar III-3 Peta Curah Hujan

III.3.3 Pemetaan Daerah Ancaman Bencana Tanah Longsor dengan PERMEN PU

Penyusunan peta ancaman tanah longsor dilakukan dengan metode pembobotan dan *overlay* dari parameter-parameter yang digunakan yaitu penggunaan lahan, kemiringan lereng, jenis tanah, jenis batuan, curah hujan, keberadaan sesar, dan keberadaan jalan memotong lereng. Dari pembobotan tersebut selanjutnya dilakukan penjumlahan skor, dari jumlah skor tersebut dilakukan klasifikasi nilai total kedalam empat kelas ancaman yaitu kelas sangat rendah, kelas rendah, kelas sedang, dan kelas tinggi. Pengkelasan dengan menggunakan metode *natural breaks*.

Berikut merupakan parameter yang digunakan dalam pembuatan peta ancaman bencana tanah longsor.

Tabel III-2 Tabel Parameter

No	Parameter/Bobot	Kelas	Skor
1	Penggunaan Lahan Bobot (20%)	Hutan Alam	1
		Perkebunan/Tegal	2
		Semak/Rumput	3
		Pemukiman/Gedung/Sawah	4
2	Curah Hujan Bobot (20%)	< 1000 mm	1
		1000 mm - 1499 mm	2
		1500 mm - 2500 mm	3
		> 2500 mm	4
3	Kemiringan Lereng Bobot (25%)	< 15 %	1
		15 % - 24 %	2
		25 % - 44 %	3
		>45 %	4
4	Jenis Tanah Bobot (10%)	Aluvial	1
		Kapur	2
		Sedimen	3
		Vulkanis	4
5	Jenis Batuan Bobot (10%)	Andesit, Basalt, Diroit, Tefra Berbutir Halus, Tefra Berbutir Kasar	1
		Batu Karang, Aluvium, Endapan Laut Muda	2
		Batu Gamping, Batu Karang	3
6	Keberadaan jalan memotong lereng Bobot (10%)	Tidak Ada	1
		Ada	4
7	Keberadaan Sesar Bobot (5%)	Buffer <100m	4
		Buffer 100-250m	3
		Buffer 250-400m	2
		Buffer 400-600	1

Sumber: PERMEN PU No. 22/PRT/M/2007

III.3.4 Pemetaan Daerah Ancaman Bencana Tanah Longsor dengan *Fuzzy AHP*

Pembuatan peta ancaman dengan *fuzzy AHP* yaitu dengan menggunakan bobot dari perhitungan *Fuzzy AHP*. Skor yang digunakan sama seperti pada pengolahan dengan metode PERMEN PU, akan tetapi

bobot yang digunakan yaitu bobot pengolahan *fuzzy* AHP.

Di bawah ini merupakan tahapan pembobotan *Fuzzy* AHP.

1. Membuat Matriks Perbandingan Berpasangan

	Kelerengan	Jenis Batuan	Jenis Tanah	Curah Hujan	Jalan Memotong lereng	Peta Sesar	P_Lahan
Kelerengan	1	5	4	2	4	5	0,5
Jenis Batuan	0,2	1	2	0,25	3	2	0,33
Jenis Tanah	0,25	0,5	1	0,2	3	2	0,33
Curah Hujan	0,5	4	5	1	5	3	2
Keberadaan Jalan Memotong lereng	0,25	0,333	0,333	0,2	1	3	0,25
Keberadaan Sesar	0,2	0,5	0,5	0,333	0,333	1	0,25
Penggunaan Lahan	2	3	3	0,5	4	4	1

2. Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan

	Kelerengan	Jenis Batuan	Jenis Tanah	Curah Hujan	Keberadaan Jalan Memotong lereng	Keberadaan Sesar	P_Lahan
Kelerengan	7,000	25,333	32,083	8,767	48,667	48,000	10,250
Jenis Batuan	2,842	7,000	8,217	2,733	16,050	20,083	3,183
Jenis Tanah	2,517	6,050	6,167	2,458	11,500	17,183	2,608
Curah Hujan	8,900	22,167	24,167	7,000	48,000	49,500	9,250
Keberadaan Jalan Memotong lereng	1,850	5,133	4,958	2,175	7,000	10,183	1,997
Keberadaan Sesar	1,375	4,444	4,703	1,483	7,133	7,000	1,683
Penggunaan Lahan	7,4	22,833	23,333	8,483	37,833	43,500	7,000

3. Menghitung Nilai Eigen

Tabel III-3 Nilai Eigen

Kriteria	Jumlah	Eigen
Kelerengan	180,1	0,2691
Jenis Batuan	60,1083	0,0898
Jenis Tanah	48,4833	0,0725
Curah Hujan	168,9833	0,2525
Keberadaan Jalan Memotong lereng	33,2972	0,0498
Keberadaan Sesar	27,822	0,0416
Penggunaan Lahan	150,383	0,2247
Jumlah	669,17	1,0000

4. Menghitung Nilai Lamda Maksimum

Tabel III-4 Nilai Lamda Maksimum

Kelerengan	2,032394647	/	0,269	=	7,551545438
Jenis Batuan	0,659024757	/	0,089824162	=	7,336831647
Jenis Tanah	0,5424912	/	0,072452097	=	7,487584508
Curah Hujan	1,931628366	/	0,252523827	=	7,649291515
Keberadaan Jalan Memotong lereng	0,402551639	/	0,050	=	8,090122633
Keberadaan Sesar	0,333484984	/	0,041576728	=	8,020953142
Penggunaan Lahan	1,741432272	/	0,224728523	=	7,749048727
JML =					53,88537761
LAMDA =					7,697911087

5. Menghitung Indeks Konsistensi

$$IK = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

$$IK = \frac{7,6979 - 7}{7 - 1} = 0,116318514$$

6. Menghitung Rasio Konsistensi

$$RK = \frac{IK}{IR}$$

$$RK = \frac{0,116318514}{1,32} = 8,812008673\%$$

Nilai RK <10%, maka dapat diartikan bahwa tingkat inkonsistensi dapat diterima.

7. Konversi Skala AHP ke Bilangan Triangular Fuzzy Number (TFN).

Setelah memiliki hasil rasio konsistensi memenuhi RK <10%, maka bilangan AHP diubah kedalam bilangan TFN.

8. Menghitung Nilai Fuzzy Synthetic Extent

Tabel III-5 Nilai Fuzzy Synthetic Extent

	l	m	u
S1 =	0,133171913	0,213903743	0,3426295
S2 =	0,061501211	0,1081402258	0,1394422
S3 =	0,063922518	0,1081402258	0,1792829
S4 =	0,12590799	0,2049910873	0,3306773
S5 =	0,060048426	0,093285799	0,1633466
S6 =	0,059079903	0,093285799	0,1952191
S7 =	0,104116223	0,178253119	0,2948207

9. Membandingkan Nilai Fuzzy Synthetic Extent (Si>Sk) dan Menghitung Nilai Terkecil Setiap Baris perbandingan (dmin).

10. Normalisasi Bobot Fuzzy AHP

Tabel III-6 Normalisasi Bobot Fuzzy AHP

No	Parameter	dmin	Bobot FAHP
1	Kelerengan	1,000	0,253
2	Jenis Batuan	0,335	0,085
3	Jenis Tanah	0,304	0,077
4	Curah Hujan	0,957	0,242
5	Jalan Memotong Lereng	0,200	0,051
6	Keberadaan Sesar	0,340	0,086
7	Penggunaan Lahan	0,819	0,207
		3,955	1,000

III.3.5 Pemetaan Daerah Kapasitas

Berdasarkan telaah dokumen yang digunakan dalam penelitian dan wawancara dengan BPBD Kabupaten Karanganyar, maka dalam Pembuatan peta kapasitas parameter yang digunakan yaitu:

Tabel III-7 Parameter Peta Kapasitas

No	Parameter Kapasitas	Bobot (%)	Besaran	Kategori	Skor
1.	Jumlah Tenaga Kesehatan	25	<45 Orang	Rendah	1
			45-77 Orang	Sedang	2
			>77 Orang	Tinggi	3
2.	Jumlah Sarana Kesehatan	25	<16 Unit	Rendah	1
			16-20 Unit	Sedang	2
			>20 Unit	Tinggi	3
3.	Sosialisasi Bencana	25	Tidak Ada	Rendah	1
			Ada	Tinggi	3
4.	Usaha Antisipasi Bencana	25	Tidak Ada	Rendah	1
			Ada	Tinggi	3

Sumber:

- 1.) Perka BNPB No. 2 Tahun 2012
- 2.) Faizana, 2015
- 3.) Lestari, 2018

**III.3.6 Pemetaan Daerah Kerentanan**

Berdasarkan telaah dari beberapa dokumen dan wawancara dengan BPBD Kabupaten Karanganyar, maka komponen dalam pembuatan peta kerentanan adalah sebagai berikut:

**Tabel III-8 Parameter Peta Kerentanan**

No.	Komponen Kerentanan	Parameter Kerentanan	Kelas Kerentanan (Skor)		
			Rendah (1)	Sedang (2)	Tinggi (3)
1	Demografi dan Sosial Budaya	Kepadatan Penduduk	<20,22 Jiwa/Km <sup>2</sup>	20,22-35,72 Jiwa/Km <sup>2</sup>	>35,72 Jiwa/Km <sup>2</sup>
		Jumlah Penduduk Usia Balita	<3144 Jiwa	3144-4548 Jiwa	>4548 Jiwa
		Jumlah Penduduk Lanjt Usia	<4177 Jiwa	4177-5309 Jiwa	>5309 Jiwa
		Jumlah Keluarga Prasejahtera	<1973 Jiwa	1973-3738 Jiwa	>3738 Jiwa
		Perbandingan Jenis Kelamin	<98,32 Jiwa	98,32-100,85 Jiwa	>100,85 Jiwa
2	Ekonomi	Luas Lahan Produktif	<3211,96 Ha	3211,96-4881,31 Ha	>4881,31 Ha
		Jumlah Sarana Ekonomi	<1282	1282-2203	>2203
3	Fisik	Panjang Jaringan Jalan	<186574,71 m	186574,71 - 242218,59 m	>242218,59 m
		Luas Kawasan Terbangun	<1216,48 Ha	1216,48 - 1828,59 Ha	>1828,59 Ha
4	Lingkungan	Luas Sawah	<1069,19 Ha	1069,19-1816,7 Ha	>1816,7 Ha
		Luas Kebun	<586,80 Ha	586,80 - 1166,41 Ha	>1166,41 Ha
		Luas Semak	<356,61 Ha	356,61 - 713,23 Ha	>713,23 Ha
		Luas Hutan	<599,53 Ha	5953-1199,06 Ha	>1199,06 Ha

Sumber:

- 1.) Perka BNPB No. 2 Tahun 2012
- 2.) Faizana, 2015
- 3.) Lestari, 2018

**III.3.7 Pemetaan Daerah Risiko Bencana Tanah Longsor**

Pembuatan peta risiko bencana tanah longsor dilakukan dengan perkalian matriks VCA (*Vulnerability Capacity Analysis*) sesuai dengan PERKA BNPB No. 2 Tahun 2012 untuk mendapatkan hasil Peta Risiko Bencana.

$$R = H * \frac{V}{C}$$

Keterangan :

R : *Disaster Risk*: Risiko Bencana

H: *Hazard Threat*: Frekuensi bencana tertentu cenderung terjadi dengan intensitas tertentu pada lokasi tertentu.

V: *Vulnerability*: Kerugian yang diakibatkan didaerah tertentu dalam sebuah kasus bencana. Variabel ini biasanya sebagai pajanan (penduduk, aset, dll) dikalikan sensitivitas untuk kejadian bencana secara spesifik.

C : *Adaptive Capacity*: Kapasitas yang tersedia di daerah tersebut untuk pulih dari bencana.

**Tabel III-9 Klasifikasi Risiko Tanah Longsor**

Kerentanan (V)	V/C		Kapasitas (C)		
	Rendah	Sedang	Rendah	Sedang	Tinggi
			Rendah	Sedang	Tinggi
	Sedang	Rendah	Sedang	Tinggi	Tinggi

Ancaman (H)	Risiko H*V/C		V/C		
	Rendah	Sedang	Rendah	Sedang	Tinggi
			Rendah	Sedang	Tinggi
	Sedang	Rendah	Sedang	Tinggi	Tinggi

**III.3.8 Visualisasi Hasil Pengolahan Berbasis WebGIS**

Pada penelitian ini dilakukan visualisasi hasil peta secara online menggunakan software ArcGIS Online, mengatur simbologi dan tool yang bisa ditambahkan pada peta online. Hasil peta online tersebut dimasukkan kedalam website yang dibuat oleh penulis sebagai wadah dari Peta Online tersebut.

**IV. Hasil dan Pembahasan**

**IV.1 Hasil dan Analisis Ancaman Bencana**

**IV.1.1 Hasil dan Analisis Ancaman Metode PERMEN PU**

Hasil dari pembuatan peta ancaman bencana tanah longsor dengan menggunakan metode PERMEN PU adalah sebagai berikut

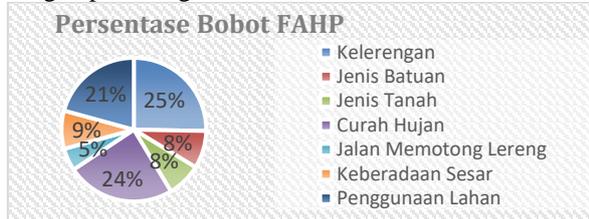


**Gambar IV-1 Peta Ancaman PERMEN PU**

Untuk hasil pengolahan peta ancaman metode PERMEN PU diperoleh 448,8107 Ha atau 0,559 % tingkat tinggi, 20201,211 Ha atau 25,173% tingkat sedang, 59179,476 Ha atau 73,744 % tingkat rendah dan 0,5238 Ha atau 0,523 % tingkat sangat rendah. Pada metode PERMEN PU kecamatan yang memiliki ancaman tertinggi adalah Kecamatan Ngargoyoso.

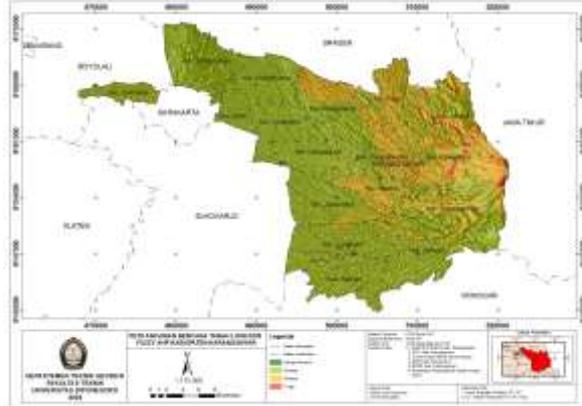
**IV.1.2 Hasil dan Analisis Ancaman Metode Fuzzy AHP**

Pembuatan peta ancaman bencana tanah longsor di Kabupaten Karanganyar dengan metode Fuzzy AHP, dengan *overlay* data-data yang digunakan kemudian dilakukan skoring dan pembobotan sesuai dengan perhitungan.



**Gambar IV-2 Persentase Bobot FAHP**

Diagram diatas ini didapat bahwa kelerengan memiliki pengaruh sangat tinggi dalam pembuatan peta ancaman tanah longsor yaitu 24%. Paling rendah adalah parameter jalan memotong lereng, yaitu sebesar 5%.



**Gambar IV-3 Peta Ancaman Fuzzy AHP**

Hasil pengloahan peta ancaman metode Fuzzy AHP diperoleh sebesar 843,041 Ha atau 1,05 % tingkat tinggi, 21589,22 Ha atau 26,90 % tingkat sedang, 56521,601 Ha atau 70,432 % tingkat rendah dan 1295,994 Ha atau 1,614 % tingkat sangat rendah. Pada Metode Fuzzy AHP kecamatan yang memiliki luasan ancaman tertinggi adalah Kecamatan Jenawi.

**IV.1.3 Hasil dan Analisis Ancaman Tanah Longsor**

Pada data BPBD wilayah yang cukup tinggi kejadian tanah longsor yaitu wilayah Kecamatan Jenawi, Kecamatan Ngargoyoso, Kecamatan Karangpandan, Kecamatan Tawangmangu, Kecamatan Matesih, dan Kecamatan Jatiyoso. Titik validasi yang diambil adalah sebanyak 118 titik. Data validasi lapangan adalah sebagai berikut:

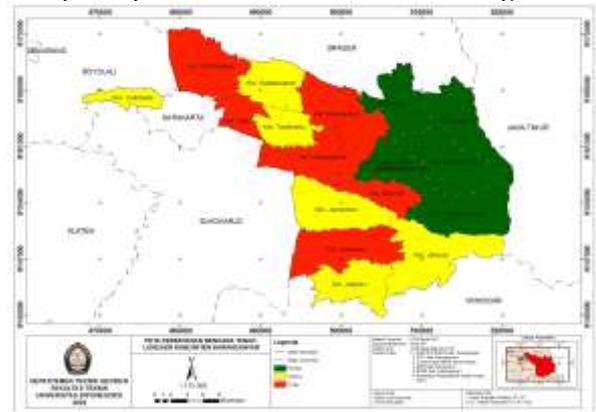
1. Didapatkan sebanyak 98 titik validasi yang sesuai dengan metode PERMEN PU dan Fuzzy AHP.
2. Didapatkan sebanyak 9 titik validasi lebih sesuai PERMEN PU daripada Fuzzy AHP.
3. Didapatkan sebanyak 5 titik validasi lebih sesuai Fuzzy AHP daripada PERMEN PU.
4. Didapatkan sebanyak 6 titik validasi tidak sesuai dengan kedua metode.

Dari data tersebut didapatkan hasil bahwa 90,67% metode PERMEN PU sesuai dan 87,29% metode Fuzzy AHP.

**IV.2 Hasil dan Analisis Daerah Kerentanan dan Peta Kapasitas**

**IV.2.1 Hasil dan Analisis Daerah Kerentanan**

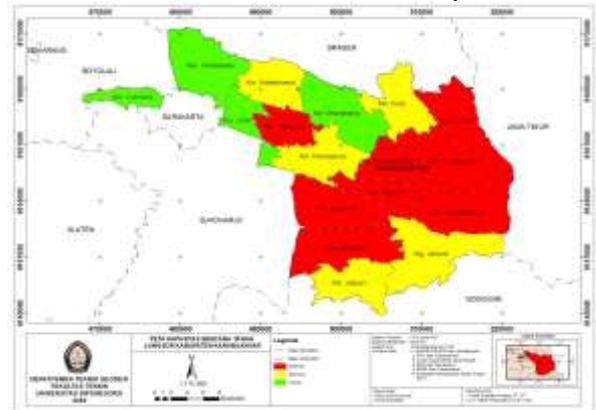
Berdasarkan hasil pengolahan didapatkan peta kerentanan bencana tanah longsor, untuk kelas tinggi didapat enam kecamatan yaitu, Kec. Gondangrejo, Kec. Jaten, Kec. Karanganyar, Kec. Mojogedang, Kec. Matesih dan Kec. Jumapolo, untuk kelas sedang didapat enam kecamatan yaitu Kec. Colomadu, Kebakkramat, Kec. Tasikmadu Kec. Jumantono, Kec. Jatiyoso, Kec. Jatiyoso. Untuk kerentanan rendah ada lima kecamatan yaitu Kec. Kerjo, Kec. Jenawi, Kec. Ngargoyoso, Kec. Karangpandan, dan Kec. Tawangmangu Berikut merupakan peta kerentanan bencana tanah longsor.



**Gambar IV-4 Peta Kerentanan**

**IV.2.2 Hasil dan Analisis Daerah Kapasitas**

Berdasarkan pengolahan didapatkan peta kapasitas bencana tanah longsor, untuk kapasitas tinggi ada empat kecamatan yaitu Kec. Colomadu, Kec. Gondangrejo, Kec. Jaten, Kec. Mojogedang. Untuk kapasitas sedang ada lima kecamatan yaitu Kec. Kebakkramat, Kec. Karanganyar, Kec. Kerjo, Kec. Jatiyoso, dan Kec. Jatiyoso. Dan untuk kapasitas rendah yaitu Kec. Tasikmadu, Kec. Jatiyoso, Kec. Ngargoyoso, Kec. Tawangmangu, Kec. Karangpandan, Kec. Matesih, Kec. Jumantono, dan Kec. Jumapolo.

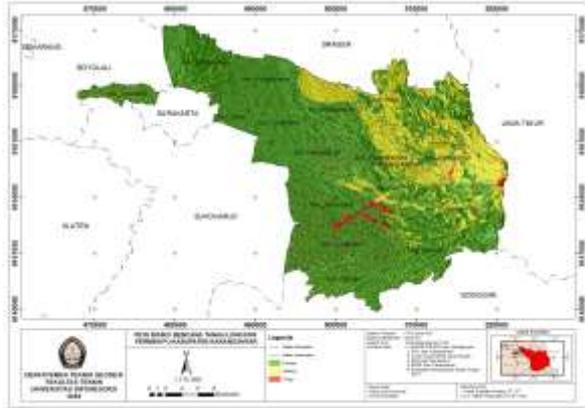


**Gambar IV-5 Peta Kapasitas**

**IV.3 Hasil dan Analisis Daerah Risiko Bencana Tanah Longsor dan Desain Peta Online**

**IV.3.1 Hasil dan Analisis Daerah Risiko Bencana Tanah Longsor**

Pemetaan Risiko bencana tanah longsor di Kabupaten Karanganyar memiliki tingkat risiko tinggi seluas 1811,616 Ha dengan presentase 2,25%, tingkat risiko sedang seluas 18838,410 Ha dengan presentase 23,48%, dan tingkat risiko rendah seluas 59600,513 Ha dengan presentase 74,26%.



**Gambar IV-6** Peta Risiko Bencana Tanah Longsor

**IV.3.2 Hasil dan Analisis Validasi Daerah Risiko Bencana Tanah Longsor**

Titik sampel validasi yang diambil adalah sebanyak 15 titik. Data validasi lapangan adalah sebagai berikut:

1. Didapatkan sebanyak 11 titik sampel validasi metode PERMEN PU yang sesuai dengan keadaan lapangan dan sesuai dengan tingkat ancaman bencana tanah longsor
2. Didapatkan sebanyak 12 titik sampel validasi metode *Fuzzy AHP* yang sesuai dengan keadaan lapangan dan sesuai dengan tingkat ancaman bencana tanah longsor.

Maka didapatkan 73% metode PERMEN PU sesuai, dan 80% Metode *Fuzzy AHP* Sesuai.

**IV.3.3 Hasil dan Analisis Visualisasi Pengolahan Berbasis WebGIS**

**1. Uji Sistem**

Untuk perangkat desktop dibuka menggunakan Google Chrome dan Microsoft Edge. Sedangkan untuk *mobile* menggunakan *browser* Vivo internet dan Google Chrome. Hasil uji sistem seperti pada tabel berikut:

**Tabel IV-1** Hasil Uji Sistem

Perangkat	Browser	Keterangan
Desktop	Google Chrome	Berhasil
	Microsoft Edge	Berhasil
Mobile	Vivo Internet	Berhasil
	Google Chrome	Berhasil

**2. Uji Usability**

Uji *usability* yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan 5 komponen yaitu mudah dipelajari (*Learnability*), efisien (*Efficiency*), mudah diingat (*Memorability*), pencegahan error (*Error*), dan

kepuasan (*Satisfaction*). Aspek tersebut kemudian diubah menjadi pertanyaan pertanyaan yang mewakili.

**Tabel IV-2** Tabel Uji *Usability*

Aspek	Pertanyaan	Nilai	Ket.
<i>Learnability</i>	Kemudahan Menggunakan	4,31	Sangat Baik
	Kemudahan Mempelajari	4,35	Sangat Baik
<i>Efficiency</i>	Manfaat Informasi	4,29	Sangat Baik
	Penentuan Kebijakan	4,0	Sangat Baik
<i>Memorability</i>	Kemudahan Mengingat Fitur	4,17	Sangat Baik
<i>Error</i>	Kesalahan Dalam Membuka Web	3,92	Baik
	Kesalahan Pada Fitur	4,06	Sangat Baik
<i>Satisfaction</i>	Kepuasan Aplikasi	4,25	Sangat Baik
Rata-Rata		4,18	Sangat Baik

**V. Kesimpulan dan Saran**

**V.1 Kesimpulan**

Penelitian ini menghasilkan simpulan yaitu:

1. Berdasarkan hasil penelitian, untuk pengolahan pemetaan ancaman metode PERMEN PU diperoleh 448,8107 Ha atau 0,559 % tingkat tinggi, 20201,211 Ha atau 25,173% tingkat sedang, 59179,476 Ha atau 73,744 % tingkat rendah dan 0,5238 Ha atau 0,523 % tingkat sangat rendah. Berdasarkan metode PERMEN PU kecamatan yang memiliki ancaman tertinggi adalah Kecamatan Ngargoyoso. Pengolahan pemetaan ancaman metode *Fuzzy AHP* diperoleh sebesar 843,041 Ha atau 1,05 % tingkat tinggi, 21589,22 Ha atau 26,90 % tingkat sedang, 56521,601 Ha atau 70,432 % tingkat rendah dan 1295,994 Ha atau 1,614 % tingkat sangat rendah. Berdasarkan metode *Fuzzy AHP* kecamatan yang memiliki luasan ancaman tertinggi adalah Kecamatan Jenawi. Berdasarkan validasi 118 titik ancaman bencana tanah longsor didapatkan bahwa 90,67% sesuai dengan metode PERMEN PU dan 87,29% sesuai dengan metode *Fuzzy AHP*.
2. Berdasarkan hasil penelitian, untuk pemetaan kerentanan bencana tanah longsor diperoleh 6 Kecamatan tingkat kerentanan tinggi, 6 kecamatan tingkat kerentanan sedang, dan 5 kecamatan tingkat kerentanan rendah. Hasil Pemetaan kapasitas bencana tanah longsor diperoleh 4 kecamatan tingkat kpasitas tinggi, 5 kecamatan tingkat kapasitas sedang, 8 kecamatan tingkat kapasitas rendah.
3. Pemetaan Risiko bencana tanah longsor di Kabupaten Karanganyar memiliki tingkat risiko tinggi seluas 1811,616 Ha atau 2,25%, tingkat risiko sedang seluas 18838,410 Ha atau 23,48%, dan tingkat risiko rendah seluas 59600,513 Ha atau 74,26%. Visualisasi hasil pemetaan diproses dengan menggunakan *software* ArcGIS *Online*, dalam uji sistem dan uji *usability* memiliki hasil yang baik, dibuktikan pada uji sistem dan uji *usability* yang telah dilakukan kemudian ditampilkan pada *website* <https://adi25wahyu.wixsite.com/undip-geodetic>.

## V.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan untuk memprediksi perkembangan wilayah di sepanjang jalan lingkaran, terdapat beberapa saran yang sebaiknya diperhatikan oleh peneliti lain sebagai berikut:

1. Untuk mengecek ketersediaan data yang terbaru atau memiliki tahun yang sama dalam pengolahan.
2. Pengolahan sebaiknya ada beberapa peta ancaman dalam selang waktu berbeda, dilihat dari perbedaan curah hujan yang berpengaruh terhadap longsor tidak memiliki intensitas yang sama disetiap waktunya.
3. Penggunaan skala yang sama agar *output* peta yang dihasilkan lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2012). Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 02 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana. BNPB. Jakarta.
- Badan Informasi Geospasial. (2018). *Laporan Kegiatan DEM Nasional*. Bogor: Badan Informasi Geospasial.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2018). *Indeks Risiko Bencana Indonesia*. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Berhane, G., Kebede, M., Alfarah, N., Hagos, E., Grum, B., Giday, A., & Abera, T. (2020). Journal of African Earth Sciences Landslide susceptibility zonation mapping using GIS-based frequency ratio model with multi-class spatial data-sets in the Adwa-Adigrat mountain chains , northern Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences*, 164(February), 103795. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103795>
- Dahal, B. K. (2017). Landslide hazard map : tool for optimization of low-cost mitigation. <https://doi.org/10.1186/s40677-017-0071-3>
- Faizana, Fina. (2015). Pemetaan Risiko Tanah Longsor Kota Semarang. Tugas Akhir. Departemen Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.
- Hardiyatmo, H. C. (2012). *TANAH LONGSOR DAN EROSI (Kejadian dan Penanganan)*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hamza, T., & Raghuvanshi, T. K. (2017). GIS based landslide hazard evaluation and zonation – A case from Jeldu District, Central Ethiopia, GIS based landslide hazard evaluation and zonation. *Journal of King Saud University - Science*, 29(2), 151–165. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2016.05.002>.
- J.Doyle, F. (1978). *Photogrametric Engineering and Remote Sensing*. London: Iris Universe.
- Kusumadewi, S dan Purnomo, H. (2004). *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Graha Ilmu. Yogyakarta
- Lestari, Sabda. (2019). Pemetaan Risiko Tanah Longsor Kabupaten Semarang Berbasis Sistem Informasi Geografis. Tugas Akhir. Departemen Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.
- Nielsen, Jakob. (1993). “Usability Engineering,” 1–11.
- Prahasta, E. (2014). *SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS: Konsep-Konsep Dasar (Prespektif Geodesi & Geomatika)*. Bandung: Informatika Bandung.
- Priyono. (2008). *Metode Penelitian Kuantitatif*. Surabaya: Zifatama Publishing.
- Rohmat. (2019). *PENANGGULANGAN BENCANA ALAM KLIMATOLOGIS*. Depok: Penerbit Duta.
- Syafitri, Ajeng K N. 2019. Pemanfaatan Geoportal Dalam Visualisasi Peta Ancaman Bencana Tanah Longsor Kabupaten Karanganyar Berdasarkan Simulasi Tingkat Intensitas Curah Hujan. *Jurnal Ellipsoida*. Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Supriatna. (2018). *Sistem Informasi Geografis (Analisis dan Aplikasi)*. Depok: Departemen Geografi FMIPA UI.
- Tan, Q., Bai, M., Zhou, P., Hu, J., & Qin, X. (2020). Geological hazard risk assessment of line landslide based on remotely sensed data and GIS. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 169(January 2020), 108370. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108370>
- Valdika, Rahmat R. (2019). Analisis Ancaman Multi Bencana Di Kabupaten Kendal Berbasis *Fuzzy Analytic Hierarchy Process*. Tugas Akhir. Departemen Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.
- Varnes, (1978). *Slope Movement Types and Processes*. In: Schuster RL, Krizek RJ (eds) Landslides, Analysis and Control, Special Report 176: Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington DC, pp. 11.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2007). Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor. PERMEN PU No. 22/PRT/M/2007. Juli. Jakarta

### Pustaka Dari Internet

- <https://www.intelligence-airbusds.com>. Diakses pada tanggal 23 Februari 2020
- <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/get-started/what-is-ago.html>. Diakses pada 23 Februari 2020.
- <http://www.karanganyarkab.go.id/20110104/administrasi-wilayah/peta-karanganyar/>. Diakses pada Februari 2020.
- <https://jateng.tribunnews.com/2019/12/23/breaking-news-tanah-longsor-dingargoyoso-karanganyar-9-orang-mengungsi>. Diakses Pada 17 Februari 2020.
- <https://radarsolo.jawapos.com/read/2019/12/26/171815/longsor-jalur-utama-giribangun-tawangmangusempat-terputus>. Diakses Pada 17 Februari 2020.