

**ANALISIS ZONA RAWAN TANAH LONGSOR MENGGUNAKAN
METODE *FUZZY ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS* (FAHP)
(Studi Kasus: Kabupaten Boyolali)**

Azam Aminudin^{*}, Arwan Putra Wijaya, Firman Hadi

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : azamaminudin11@gmail.com

ABSTRAK

Pemodelan zona rawan tanah longsor merupakan hal yang penting dilakukan untuk mengetahui informasi mengenai persebaran zona rawan tanah longsor. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan zona rawan tanah longsor di Kabupaten Boyolali berdasarkan analisis MCDM (*Multi Criteria Decision Making*) dan memberikan referensi metode dalam memodelkan zona rawan tanah longsor yaitu dengan menggunakan *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP) sebagai alat bantu pengambilan keputusan dari data kualitatif. Adapun parameter yang digunakan untuk memodelkan zona rawan tanah longsor di Kabupaten Boyolali yaitu kemiringan lereng, curah hujan, kepadatan drainase, tutupan lahan, geologi, jenis tanah, keberadaan sesar, kerapatan vegetasi (NDVI), dan arah kemiringan lereng (*aspect*). Berdasarkan hasil pembobotan dengan metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP), diperoleh nilai bobot diantaranya: kemiringan lereng (27,8%), curah hujan (20,7%), kepadatan drainase (20,1%), tutupan lahan (7,90%), geologi (8%), jenis tanah (5,6%), keberadaan sesar (5,5%), NDVI atau kerapatan vegetasi (3,9%), dan arah kemiringan lereng atau *aspect* (1%). Hasil peta zona rawan tanah longsor di Kabupaten Boyolali yaitu luas wilayah dengan kerawanan rendah sebesar 10.502,876 ha atau 9,66%, kelas kerawanan sedang sebesar 85.916,143 ha atau 79,03%, kelas kerawanan tinggi sebesar 11.774,626 ha atau 10,83%, dan kelas kerawanan sangat tinggi sebesar 518,016 ha atau 0,48%. Hasil uji akurasi peta zona rawan tanah longsor Kabupaten Boyolali berdasarkan titik kejadian longsor dan nilai kerugiannya adalah sebesar 94,37%. Adapun potensi zona rawan tanah longsor pada kawasan terbangun yaitu luas kawasan terbangun dengan kerawanan rendah sebesar 2,458 ha atau 0,01%, kerawanan sedang sebesar 27.908,549 ha atau 91,10%, kerawanan tinggi 2.357,629 ha atau 7,70% dan kerawanan sangat tinggi sebesar 367,001 ha atau 1,20%.

Kata Kunci : *Fuzzy-AHP*, Kabupaten Boyolali, Kawasan Terbangun, MCDM, Tanah Longsor.

ABSTRACT

Modeling landslide-susceptibility zones is an important thing to do to find out information about the distribution of landslide-susceptibility zones. This study aims to model landslide-susceptibility zones in Boyolali Regency based on MCDM (Multi-Criteria Decision Making) analysis and provide a reference method for modeling landslide-susceptibility zones by using the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) as a decision making tool based on qualitative data. The parameters used to model landslide-susceptibility zones in Boyolali Regency are slope, rainfall, drainage density, land cover, geology, soil type, presence of faults, vegetation density (NDVI), and slope direction (aspect). Based on the results of weighting using the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) method, the weight values obtained include slope (27,8%), rainfall (20,7%), drainage density (20,1%), land cover (7,90%), geology (8%), soil type (5,6%), presence of faults (5,5%), NDVI or vegetation density (3,9%), and slope direction or aspect (1%). The results of the landslide-susceptibility zone map in Boyolali Regency are the area with a low susceptibility of 10.502,876 ha or 9,66%, a moderate susceptibility class of 85.916,143 ha or 79,03%, a high susceptibility class of 11.774,626 ha or 10,83%, and a very high susceptibility class of 518,016 ha or 0,48%. The results of the accuracy test of the landslide-susceptibility zone map of Boyolali Regency based on the point of occurrence of the landslide and the loss value is 94,37%. The potential for landslide-susceptibility zones in built-up areas is the built-up area with a low susceptibility of 2,458 ha or 0,01%, moderate susceptibility of 27.908,549 ha or 91,10%, high susceptibility of 2.357,629 ha or 7,70 % and very high susceptibility of 367,001 ha or 1,20%.

Keyword: *Boyolali Regency, Built-up Area, Fuzzy-AHP, Landslide, MCDM.*

^{*})Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Berdasarkan data dari BPBD Kabupaten Boyolali tahun 2017-2021, tanah longsor merupakan bencana alam yang sering terjadi di Kabupaten Boyolali dibandingkan bencana lainnya. Adapun dampak yang ditimbulkan oleh tanah longsor di Kabupaten yaitu kerusakan pada infrastruktur bangunan seperti rumah, jalan, jembatan, dan fasilitas umum lainnya. Oleh karena itu, untuk mengurangi dampak dari tanah longsor tersebut maka diperlukannya mitigasi bencana. Mitigasi bencana tidak hanya dilakukan saat sudah terjadi bencana tanah longsor, tetapi juga sebelum terjadinya bencana tanah longsor atau tindakan preventif untuk mengantisipasi terjadinya bencana tanah longsor. Secara umum strategi mitigasi bencana tanah longsor dibagi menjadi lima tahapan yaitu pemetaan, penyelidikan, pemeriksaan, pemantauan, dan sosialisasi (BNPB, 2012). Tahapan pemetaan merupakan tahapan yang penting dilakukan untuk mengetahui persebaran daerah rawan bencana tanah longsor di berbagai daerah di Kabupaten Boyolali. Pemetaan yang telah dilakukan akan membantu pemerintah dalam mengambil keputusan terkait strategi mitigasi bencana tanah longsor di Kabupaten Boyolali. Pembuatan peta daerah rawan bencana tanah longsor sangat berguna dalam proses memecahkan solusi dan pengambilan langkah terkait penanganan tanah longsor. Selain membantu dalam pengambilan keputusan, peta daerah rawan bencana tanah longsor dapat digunakan untuk pemantauan secara berkala.

Pemetaan zona rawan tanah longsor dapat dilakukan dengan metode *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM), yaitu melakukan kajian antar kriteria (parameter) pengontrol tanah longsor untuk menghasilkan peta zona rawan tanah longsor. MCDM dapat diterapkan melalui *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP), yaitu pembobotan parameter pengontrol tanah longsor untuk mengetahui determinasi setiap parameter (intensitas kepentingan) pengontrol tanah longsor dalam mempengaruhi potensi bencana tanah longsor. Parameter-parameter yang digunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan karakteristik wilayah Kabupaten Boyolali. Penyesuaian parameter yang akan digunakan dimaksudkan agar peta yang dihasilkan mampu merepresentasikan kondisi tanah longsor Kabupaten Boyolali dengan maksimal. Dari proses pembobotan FAHP maka persebaran zona rawan tanah longsor di Kabupaten Boyolali dapat ditentukan.

Penggunaan metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* merupakan salah satu alternatif untuk memodelkan zona rawan tanah longsor berbasis *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) yaitu kajian perbandingan antar parameter penyebab tanah longsor. Hal ini didasarkan pada kemampuan dari *Fuzzy-AHP* dalam mengambil keputusan berdasarkan data kualitatif. Data kualitatif dibutuhkan sebagai bahan pertimbangan untuk memodelkan zona rawan tanah longsor di Kabupaten Boyolali. Data kualitatif yang dimaksud adalah informasi dari pendapat ahli mengenai

bencana tanah longsor di Kabupaten Boyolali. Untuk merubah data kualitatif tersebut menjadi komponen penyusun peta zona rawan tanah longsor, maka diperlukan sebuah metode untuk merubahnya. *Fuzzy-AHP* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk merubah data kualitatif menjadi sebuah komponen penyusun peta zona rawan tanah longsor.

I.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana persebaran zona rawan tanah longsor di Kabupaten Boyolali berdasarkan metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process*?
2. Parameter apa yang memiliki pengaruh besar terhadap potensi bencana tanah longsor di Kabupaten Boyolali berdasarkan metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process*?
3. Bagaimana potensi zona rawan tanah longsor pada kawasan terbangun di Kabupaten Boyolali?

I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Adapun Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui persebaran zona rawan tanah longsor di Kabupaten Boyolali berdasarkan metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP).
2. Untuk mengetahui parameter yang memiliki pengaruh besar terhadap potensi bencana tanah longsor di Kabupaten Boyolali berdasarkan metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP).
3. Untuk mengetahui potensi zona rawan tanah longsor pada kawasan terbangun di Kabupaten Boyolali.

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini yaitu:

- Aspek Kemasyarakatan
 - Memberikan informasi kepada masyarakat terkait persebaran daerah rawan tanah longsor di Kabupaten Boyolali sehingga masyarakat memiliki kesiapsiagaan dalam menghadapi masalah yang muncul akibat bencana tanah longsor.
- Aspek Keilmuan
 - Penelitian ini diharapkan mampu memberikan referensi metode dalam melakukan kajian pemetaan daerah rawan tanah longsor yaitu dengan pemanfaatan data kualitatif dari pendapat ahli melalui metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP).

I.4 Batasan Masalah

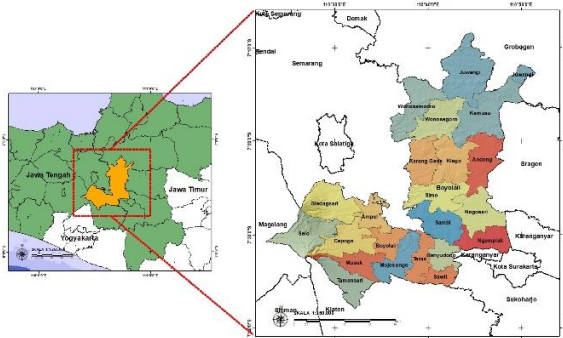
Batasan permasalahan yang diambil dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Parameter yang akan digunakan untuk pemetaan zona rawan tanah longsor Kabupaten Boyolali yaitu kelerengan, arah kemiringan lereng (*aspect*), curah hujan, penggunaan lahan, kepadatan drainase, keberadaan sesar, kerapatan vegetasi (NDVI), jenis tanah, dan geologi.
2. Penelitian ini berbasis pada *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) yaitu dengan

- melakukan kajian antar parameter pengontrol tanah longsor.
3. Pengolahan data penelitian berbasis pada Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan Jauh.
 4. Metode yang digunakan dalam pembobotan parameter tanah longsor adalah *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP).
 5. Validasi penelitian dilakukan dengan data kejadian tanah longsor dari BPBD Kabupaten Boyolali dan nilai kerugian pada masing-masing kejadian.
 6. Hasil dari penelitian ini adalah peta zona rawan tanah longsor Kabupaten Boyolali.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Wilayah Penelitian



Gambar 1 Wilayah Penelitian

Secara geografis Kabupaten Boyolali terletak pada posisi geografis antara 110° 22' s.d. 110° 50' BT dan 7° 7' s.d. 7° 36' LS. Kabupaten Boyolali berbatasan dengan Kabupaten Grobogan di sebelah utara, Kabupaten Sragen, Kabupaten Karanganyar, dan Kabupaten Sukoharjo di sebelah timur, Kabupaten Klaten dan Daerah Istimewa Yogyakarta di sebelah selatan, serta Kabupaten Magelang dan Kabupaten Semarang di sebelah barat.

II.2 Bencana Tanah Longsor

Tanah longsor merupakan suatu gerakan tanah atau batuan dan mungkin juga percampuran kedua gerakan yang menuruni lereng atau daerah yang miring karena kestabilan struktur penyusun tanah atau batuan yang terganggu. Tanah longsor dipicu faktor yang mampu mengganggu kestabilan struktur penyusun lereng. Faktor tersebut adalah faktor pengontrol dan faktor pemicu, faktor pengontrol merupakan faktor yang mempengaruhi kondisi material longsor, sedangkan faktor pemicu merupakan faktor yang memicu terjadinya pergerakan material longsor (BNPB, 2012).

II.3 Pemetaan Daerah Rawan Longsor

Pengertian ancaman bencana mengacu pada definisi yang diberikan oleh Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana. Dalam Undang-Undang ini, disebutkan bahwa setiap bahaya akan memiliki tingkat kerawanan bencana yang ditimbulkannya. Oleh karena itu, setiap daerah penting untuk memiliki peta rawan bencana. Adanya peta rawan bencana diperlukan untuk melakukan kajian terhadap bencana di suatu daerah. Peta daerah rawan bencana

juga dijadikan dasar atau acuan dalam melakukan perencanaan penanggulangan bencana dan rencana mitigasi bencana untuk mengurangi kerugian yang disebabkan oleh terjadinya bencana.

II.4 Sistem Informasi Geografis

SIG adalah sistem informasi yang digunakan untuk memasukkan, menyimpan, mengambil, mengolah, menganalisis data bereferensi yang memiliki referensi secara geografis (geospasial) untuk mendukung pengambilan keputusan dalam perencanaan dan pengelolaan penggunaan lahan, sumber daya alam, lingkungan, transportasi, fasilitas kota, dan layanan publik lainnya. Sistem komputer untuk SIG terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, dan prosedur untuk menyusun entri data, pemrosesan, analisis, pemodelan, dan tampilan data geospasial (Murai, 2007).

II.5 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh didefinisikan sebagai suatu teknik yang dikembangkan untuk memperoleh dan melakukan analisis informasi bumi, informasi tersebut secara khusus berupa radiasi elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan dari permukaan bumi. Informasi yang dapat diperoleh dengan teknik penginderaan jauh tidak hanya pada permukaan objek, area, atau fenomena yang muncul langsung di atas permukaan bumi, tetapi hingga kedalaman tingkat tertentu juga dapat dideteksi (Sutanto, 1994).

II.6 DEM (Digital Elevation Model)

DEM (*Digital Elevation Model*) merupakan representasi dari permukaan bumi yang dibentuk dari kelompok atau kumpulan dari titik-titik koordinat yang didapatkan dari proses pengambilan sampel di permukaan bumi menggunakan algoritma sehingga permukaan bumi dapat direpresentasikan ke dalam sebuah himpunan koordinat (Tempfli dalam Purwanto, 2015). DEM yang merepresentasikan permukaan bumi bisa berupa data vektor, data raster, atau data lainnya yang mendukung (Trisakti, 2010).

II.7 Supervised Classification

Klasifikasi terkontrol atau terbimbing (*supervised classification*) adalah pengklasifikasian menggunakan algoritma menggunakan sampel dalam bentuk nilai spektral yang dilakukan oleh operator yang melakukan pengolahan. Sampel dengan lokasi geografis kelompok piksel disebut dengan daerah contoh (*training area*). Jenis algoritma klasifikasi terbimbing antara lain:

1. Algoritma jarak terendah terhadap rerata (*minimum distance to mean algorithm*).
2. Algoritma *parallelepiped* (*box classification*).
3. Algoritma kemiripan maksimum (*maximum likelihood algorithm*).

Klasifikasi terkontrol membutuhkan data sampel masing-masing kelas pada citra (*training area*). Hal yang menjadi dasar dalam pengklasifikasian secara terkontrol adalah metode klasifikasi dan sampel yang digunakan. Sampel yang digunakan untuk melakukan klasifikasi biasanya dilakukan oleh operator kepada sistem agar sistem mampu mengenali objek pada citra (Muhsoni, 2015).

II.8 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Indeks vegetasi adalah algoritma yang digunakan untuk mengolah data citra (biasanya *multiband*) untuk menampilkan aspek kerapatan vegetasi maupun aspek yang berkaitan dengan kerapatan, misalnya biomassa, *Leaf Area Index* (LAI), konsentrasi klorofil, dan sebagainya. Secara umum NDVI merupakan rumus transformasi matematis yang melibatkan beberapa *band* pada citra di dalam perhitungannya untuk menghasilkan visualisasi citra yang lebih representatif dalam menyajikan unsur vegetasi (Arnanto, 2013). Persamaan NDVI dapat dilihat pada **rumus 1**.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Keterangan :

NDVI : *Normalized Difference Vegetation Index*

NIR : nilai reflektan *band near infrared*

RED : nilai reflektan *band red*

II.9 IDW (Inverse Distance Weighting)

Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) adalah metode interpolasi yang mengasumsikan bahwa nilai dari sumber data atau penduga akan semakin berkurang dengan adanya pengaruh jarak. Daerah yang berlokasi dekat dengan sumber data atau penduga akan memiliki bobot yang lebih besar dibandingkan daerah yang jauh dari sumber data atau penduga (Xie dkk., 2011). Persamaan IDW dapat dilihat pada **rumus 2** dan **3**.

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot z_i \quad (2)$$

Keterangan :

Z_x : nilai taksiran di nilai x

W_i : nilai bobot masing-masing titik sampel

Z_i : nilai bobot titik ukuran yang dipakai

n : jumlah titik sampel

i : parameter titik

Untuk menghitung nilai bobot masing-masing sampel maka menggunakan **rumus 3**.

$$w_i = \frac{\left[\frac{1}{d_i}\right]^p}{\sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{d_j}\right]^p} \quad (3)$$

Keterangan :

d_i : bobot jarak titik yang diketahui

d_j : total *inverse distance*

p : nilai pangkat

II.10 Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)

Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) merupakan salah satu metode pendukung keputusan berdasarkan kriteria pengontrol atau MCDM (*Multi-Criteria Decision Making*). FAHP digunakan untuk menyelesaikan suatu permasalahan dengan cara memodelkan, mencari solusi dari sebuah permasalahan, melakukan pengelompokan kemudian menyusun ke dalam suatu struktur hirarki (Norhikmah dkk., 2013).

Perbedaan FAHP dan AHP yaitu nilai intensitas kepentingan dari FAHP berupa *Triangular Fuzzy Number* (TFN). TFN ini yang nantinya dijadikan dasar untuk menentukan prioritas (Norhikmah dkk., 2013). Nilai dari TFN tiap skala dapat dilihat pada **Tabel II-1**.

Tabel II-1 Tabel *Triangular Fuzzy Number* (Buckley, 1985)

Skala AHP	Himpunan Linguistik	TFN	Reciprocal
1	Sama Penting	(1, 1, 1)	(1,1,1)
2	Nilai Tengah	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
3	Agak Lebih Penting	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
4	Nilai tengah	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
5	Cukup penting	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
6	Nilai tengah	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)
7	Sangat penting	(3, 7/2, 4)	(1/4, 2/7, 1/3)
8	Nilai tengah	(7/2, 4, 9/2)	(2/9, 1/4, 2/7)
9	Mutlak lebih penting	(4, 9/2, 9/2)	(2/9, 2/9, 1/4)

III. Metodologi Penelitian

III.1 Alat dan Data Penelitian

Alat dan data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Laptop ASUS Series X441U Intel Core i3-6006U @2.0GHz RAM 4GB.

- Perangkat Lunak

Adapun perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini yaitu ArcGIS 10.3, QGIS 3.10, Microsoft Office Word 2013, Microsoft Office Excel 2013.

b. Data

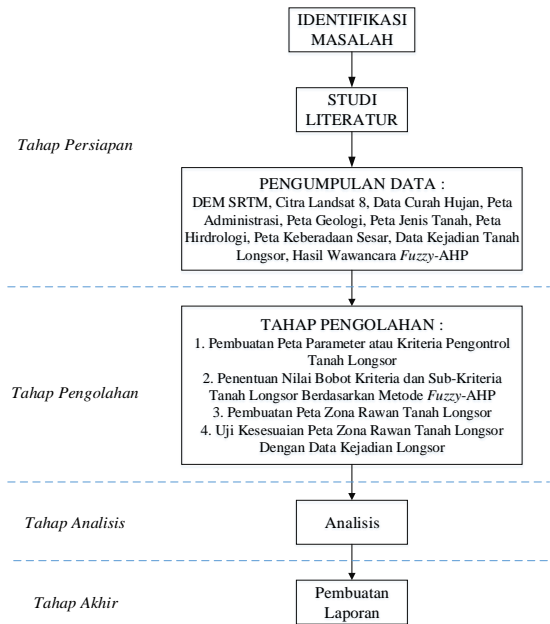
Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat secara detail pada **Tabel III-1**.

Tabel III-1 Data Penelitian

No.	Data	Sumber
1.	DEM SRTM Tahun 2014	USGS
2.	Citra Landsat-8 Tahun 2021	USGS
3.	Data curah hujan Kabupaten Boyolali Tahun 2021	BBWS Surakarta dan BBWS Pemali Juana, Semarang
4.	Peta Administrasi Kabupaten Boyolali Tahun 2017	BP3D Kabupaten Boyolali
5.	Peta Geologi Kabupaten Boyolali Tahun 2017	BP3D Kabupaten Boyolali
6.	Data kejadian bencana tanah longsor Kabupaten Boyolali Tahun 2017-2021	BPBD Kabupaten Boyolali
7.	Peta Hidrologi Kabupaten Boyolali Tahun 2017	BP3D Kabupaten Boyolali
8.	Peta Jenis Tanah Kabupaten Boyolali Tahun 2017	BP3D Kabupaten Boyolali
9.	Peta Keberadaan Sesar Tahun 2017	Dinas ESDM Jawa Tengah

III.2 Diagram Penelitian

Adapun diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

III.3 Pelaksanaan Penelitian

1. Tahap Persiapan

Sebelum melakukan pengolahan data tahap yang harus dilakukan adalah persiapan. Persiapan penelitian meliputi studi literatur, pengumpulan alat dan data penelitian, dan perizinan permohonan data penelitian.

2. Pembuatan Peta Parameter Rawan Longsor

Adapun proses pembuatan peta parameter zona rawan tanah longsor sebagai berikut.

a. Peta Kemiringan Lereng

Peta kemiringan lereng dibuat dari data DEM SRTM tahun 2014. Data DEM SRTM kemudian dilakukan pengolahan menggunakan *software* ArcGIS 10.3 dengan memanfaatkan *tools slope*.

b. Peta Arah Kemiringan Lereng

Peta arah kemiringan lereng dibuat dari data DEM SRTM tahun 2014. Data DEM SRTM kemudian dilakukan pengolahan menggunakan *software* ArcGIS 10.3 dengan memanfaatkan *tools aspect*.

c. Peta Curah Hujan

Peta curah hujan dibuat dengan metode IDW pada *software* ArcGIS 10.3. Data yang digunakan yaitu data curah hujan tahunan dari 9 titik stasiun cuaca yang tersebar di wilayah Kabupaten Boyolali dan wilayah sekitar Kabupaten Boyolali.

d. Peta Tutupan Lahan

Peta tutupan lahan di Kabupaten Boyolali dibuat dengan menggunakan data citra Landsat-8 tahun 2021. Dari data citra Landsat-8 tersebut kemudian dilakukan pengolahan dengan metode klasifikasi terbimbing (*Supervised Classification*) pada *software* QGIS 3.10.

e. Peta Kerapatan Vegetasi (NDVI).

Peta kerapatan vegetasi dibuat dengan menggunakan citra Landsat-8 tahun 2021.

Pembuatan peta kerapatan vegetasi dilakukan dengan cara menghitung indeks kerapatan vegetasi (NDVI) pada perangkat lunak QGIS 3.10.

3. Pembobotan Parameter Menggunakan Metode Fuzzy-AHP.

Pembentukan bobot nilai menggunakan metode Fuzzy-AHP terdiri atas pembobotan dengan metode AHP yang bertujuan untuk mengukur tingkat konsistensi pendapat ahli, kemudian dilakukan konversi bilangan AHP ke bilangan *Triangular Fuzzy Number* (TFN). Pembobotan dilakukan pada setiap kriteria (parameter) dan sub-kriteria (kelas).

4. Pembuatan Zona Rawan Tanah Longsor.

Pemetaan zona rawan tanah longsor dilakukan dengan cara *overlay* peta parameter tanah longsor yaitu peta kemiringan lereng, peta curah hujan, peta geologi, peta jenis tanah, peta kepadatan drainase, peta kerapatan vegetasi, peta keberadaan sesar, peta arah kemiringan lereng, dan peta tutupan lahan. Setelah dilakukan *overlay*, selanjutnya peta diklasifikasikan ke dalam kelas kerawanan longsor berdasarkan nilai bobot Fuzzy-AHP.

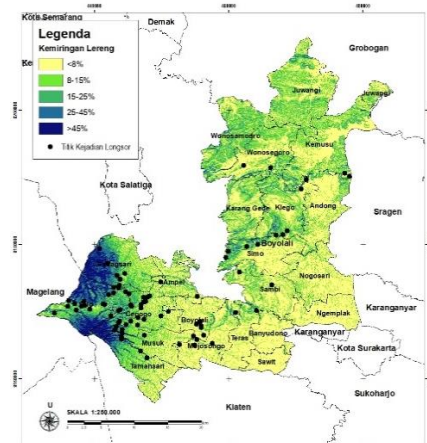
5. Validasi Peta Zona Rawan Longsor.

Validasi dilakukan dengan menilai persentase titik kejadian longsor tiap kelas longsor dan nilai kerugian akibat bencana longsor di setiap titiknya. Titik validasi merupakan kejadian longsor di Kabupaten Boyolali tahun 2017-2021 yaitu sebanyak 82 titik.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Parameter Pengontrol Tanah Longsor

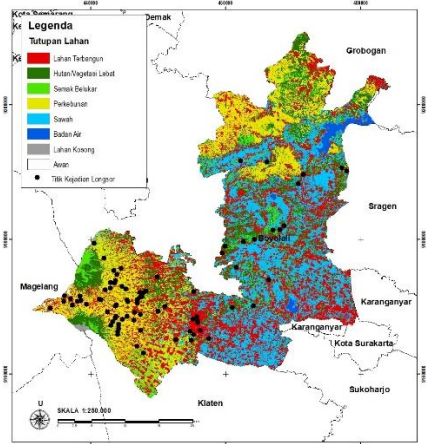
1. Peta Kemiringan Lereng



Gambar 3 Peta Kemiringan Lereng Kabupaten Boyolali

Berdasarkan peta kemiringan lereng yang telah dibuat, tingkat kemiringan lereng di Kabupaten Boyolali diklasifikasikan kedalam 5 kelas yaitu <8%, 8-15%, 15-25%, 25-45%, dan >45%. Mayoritas tingkat kemiringan lereng di Kabupaten Boyolali rata-rata berada di kelas landai atau dengan tingkat kemiringan kurang dari 8%. Sedangkan daerah yang memiliki tingkat kemiringan lereng >25% didominasi di kecamatan yang lokasinya dekat dengan lereng Gunung Merapi dan Gunung Merbabu yaitu Kecamatan Selo, Kecamatan Cepogo, Kecamatan Musuk, Kecamatan Tamansari, dan Kecamatan Gladagsari.

2. Peta Tutupan Lahan



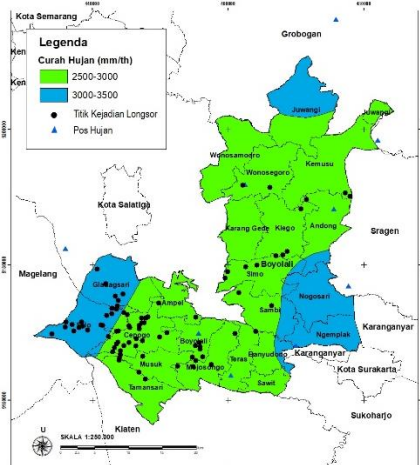
Gambar 4 Peta Tutupan Lahan Kabupaten Boyolali Tahun 2021

Peta tutupan lahan dibuat menggunakan metode *Supervised Classification* pada *software* QGIS 3.10. Adapun hasil uji akurasi yang didapatkan yaitu nilai *overall accuracy* sebesar 82,83%. Tutupan lahan di Kabupaten Boyolali diklasifikasikan menjadi 7 kelas yaitu hutan/vegetasi lebat, semak belukar/vegetasi rendah, perkebunan, persawahan, lahan terbangun, badan air, dan lahan kosong. Terdapat tiga jenis tutupan lahan yang mendominasi di Kabupaten Boyolali yaitu tutupan lahan jenis perkebunan, persawahan dan lahan terbangun. Adapun persentase luasan tutupan lahan Kabupaten Boyolali dapat dilihat pada **Tabel IV-1**.

Tabel IV-1 Tutupan Lahan Kabupaten Boyolali Tahun 2021

Kelas	Luas (Ha)	Persentase (%)
Lahan Terbangun	30635,636	27,97
Hutan/Vegetasi Lebat	18147,887	16,57
Semak Belukar	5526,033	5,05
Perkebunan	24787,947	22,63
Sawah	27305,479	24,93
Badan Air	1525,486	1,39
Lahan Kosong	1444,796	1,32
Awan	148,463	0,14

3. Peta Curah Hujan

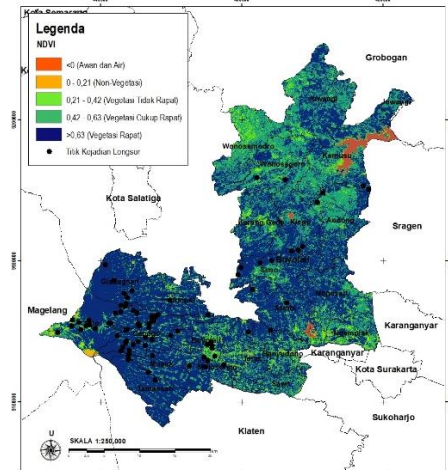


Gambar 5 Peta Curah Hujan Kabupaten Boyolali Tahun 2021

Berdasarkan peta curah hujan yang telah dibuat, curah hujan di Kabupaten Boyolali berada di rentang

2508,03 - 3809,78 mm/th. Angka ini menunjukkan bahwa tingkat curah hujan di Boyolali termasuk dalam kelas yang tinggi. Dari rentang nilai curah hujan di Boyolali, terdapat 4 Kecamatan yang memiliki curah hujan yang tinggi dibandingkan kecamatan lainnya di Kabupaten Boyolali yaitu Kecamatan Gladagsari, Kecamatan Selo, Kecamatan Juwangi, Kecamatan Nogosari, dan Kecamatan Ngemplak.

4. Peta Kerapatan Vegetasi



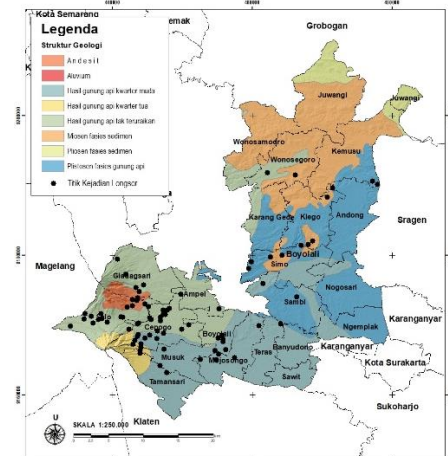
Gambar 6 Peta NDVI Kabupaten Boyolali 2021

Peta kerapatan vegetasi (NDVI) dibuat menggunakan *software* QGIS 3.10 dengan memanfaatkan data landsat-8 tahun 2021. Hasil peta kerapatan vegetasi (NDVI) menunjukkan bahwa mayoritas wilayah di Kabupaten Boyolali didominasi vegetasi rapat. Adapun persentase luasan kelas NDVI di Kabupaten Boyolali dapat dilihat pada **Tabel IV-2**.

Tabel IV-2 Luasan Tingkat Kerapatan Vegetasi (NDVI) Kabupaten Boyolali

Kelas NDVI	Luas (Ha)	Persentase (%)
Awan dan Air	1.478,230	1,35
Non-Vegetasi	710,595	0,65
Vegetasi Tidak Rapat	6.540,843	5,97
Vegetasi Cukup Rapat	35.287,082	32,22
Vegetasi Rapat	65.507,363	59,81

5. Peta Geologi

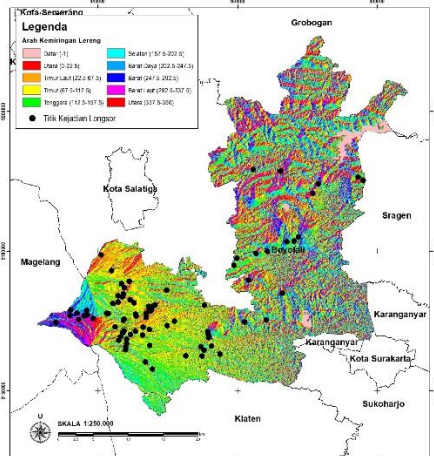


Gambar 7 Peta Geologi Kabupaten Boyolali

Kabupaten Boyolali tersusun atas beberapa formasi batuan diantaranya andesit, aluvium, hasil

gunung api kwarter muda, hasil gunung api kwarter tua, hasil gunung api tak teruraikan, miosen fasies sedimen, pliosen fasies sedimen, dan plistosen fasies gunung api. Berdasarkan **Gambar 7**, mayoritas formasi batuan di Kabupaten Boyolali tersusun atas batuan kwarter hasil gunung api yaitu Gunung Merapi dan Gunung Merbabu.

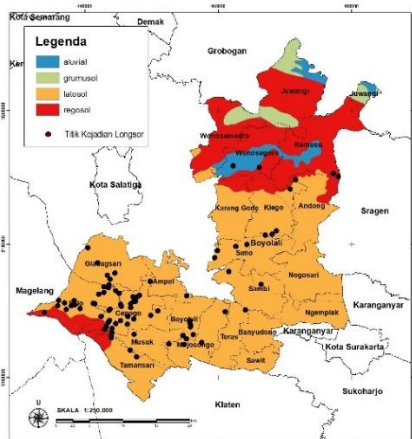
6. Peta Arah Kemiringan Lereng (*Aspect*)



Gambar 8 Peta *Aspect* Kabupaten Boyolali

Peta arah kemiringan lereng Kabupaten Boyolali didapatkan dari ekstraksi data DEM SRTM tahun 2014. Secara konsep arah kemiringan menunjukkan intensitas sinar matahari yang akan diterima tanah. Sinar matahari merupakan salah satu faktor lingkungan dalam proses pedogenesis tanah yaitu proses pembentukan dan pelapukan tanah. Berdasarkan peta arah kemiringan lereng pada **Gambar 8**, mayoritas arah kemiringan lereng di Kabupaten Boyolali mengarah ke timur dan tenggara atau dalam peta disimbolkan warna kuning dan hijau.

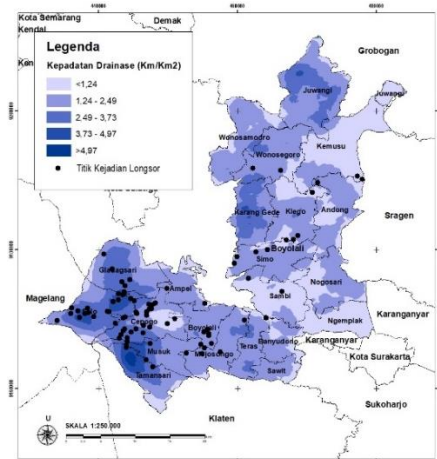
7. Peta Jenis Tanah



Gambar 9 Peta Jenis Tanah Kabupaten Boyolali

Terdapat empat jenis tanah yang ada di Kabupaten Boyolali yaitu aluvial, grumosol, latosol, dan regosol. Dari empat jenis tanah di Kabupaten Boyolali tersebut, mayoritas tanah di Kabupaten Boyolali didominasi tanah latosol. Keberadaan tanah jenis latosol tersebar hampir di seluruh wilayah Kabupaten Boyolali.

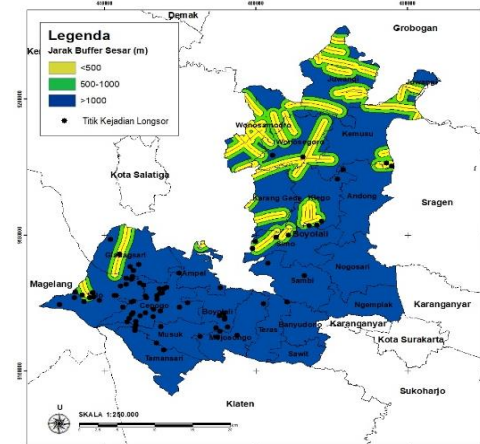
8. Peta Kepadatan Drainase



Gambar 10 Peta Kepadatan Drainase Kabupaten Boyolali

Peta kepadatan drainase Kabupaten Boyolali diklasifikasikan menjadi 5 kelas yaitu kelas <1,24 km/km² (sangat jarang), 1,24-2,49 km/km² (jarang), 2,49-3,73 km/km² (sedang), 3,73-4,97 km/km² (kepadatan baik), >4,97 km/km² (kepadatan sangat baik). Berdasarkan **Gambar 10**, keberadaan sungai yang padat terletak di kecamatan yang lokasinya dekat dengan lereng Gunung Merapi dan Merbabu yaitu Kecamatan Cepogo, Kecamatan Selo, Kecamatan Musuk, Kecamatan Gladagsari, dan Kecamatan Tamansari.

9. Peta Keberadaan Sesar



Gambar 11 Peta Keberadaan Sesar Kabupaten Boyolali

Gambar 11 merupakan peta keberadaan sesar di Kabupaten Boyolali. Dari peta yang telah dibuat, sesar di Kabupaten Boyolali banyak ditemukan di Kecamatan Wonosegoro, Kecamatan Wonosamodra, Kecamatan Klego dan Kecamatan Juwangi. Sedangkan keberadaan sesar tidak ditemukan sama sekali di daerah sekitar pusat Kota. Untuk mengetahui tingkat potensi longsor di area sekitar sesar, maka dilakukan *buffer* jaringan sesar. *Buffer* jaringan sesar diklasifikasikan menjadi 3 kelas yaitu kelas 0-500 m (tinggi), 500-1000 m (sedang), dan >1000 m (rendah).

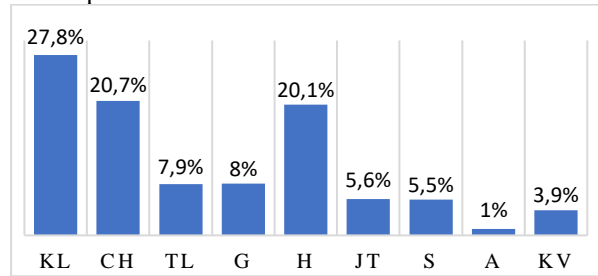
IV.2 Analisis Pembobotan Fuzzy-AHP

Adapun hasil Pembobotan *Fuzzy-AHP* Kriteria Tanah Longsor dapat dilihat pada **Tabel IV-3**

Tabel IV-3 Hasil Pembobotan Fuzzy-AHP

No	Kriteria/ Bobot FAHP	Kelas	Bobot FAHP Kelas
1	Kemiringan Lereng/ 0,273	<8%	0,122
		8-15%	0,141
		15-25%	0,178
		25-45%	0,22
		>45%	0,339
2	Curah Hujan (mm/tahun)/ 0,207	<1000	0,074
		1000 - 2000	0,13
		2000 - 2500	0,192
		2500 - 3000	0,281
		>3000	0,323
3	Kedekatan Dengan Sesar/ 0,055	Buffer 0-500 m	0,369
		Buffer 500-1000 m	0,331
		Buffer >1000 m	0,300
4	Penggunaan Lahan/ 0,079	Hutan/vegetasi lebat dan badan-badan air	0,091
		Kebun campuran/semak belukar	0,097
		Perkebunan dan sawah irigasi	0,152
		Kawasan industri dan permukiman	0,277
		Lahan-lahan kosong	0,383
5	Jenis Tanah/ 0,056	Aluvial	0,221
		Grumosol	0,276
		Latosol	0,198
		Regosol	0,305
6	Geologi/ 0,080	Andesit	0,12
		Aluvium	0,111
		Hasil Gunung Api Kwartir Muda	0,122
		Hasil Gunung Api Kwartir Tua	0,145
		Hasil Gunung Api Tak Teruraikan	0,167
		Miosen Fasies Sedimen	0,108
		Pliosen Fasies Sedimen	0,133
		Plistosen Fasies Gunung Api	0,093
7	Kepadatan Drainase (km ² /km)/ 0,201	>4,97	0,319
		3,73-4,97	0,290
		2,49-3,73	0,253
		1,24-2,49	0,082
		0-1,24	0,057
8	Arah Kelerengan (Aspect)/ 0,010	Utara	0,134
		Tenggara dan Timur Laut	0,174
		Timur dan Barat	0,198
		Barat daya, Barat Laut, Selatan	0,264
9	Kerapatan Vegetasi (NDVI)/ 0,039	Non-Vegetasi	0,513
		Awan dan Air	0,035
		Vegetasi Tidak Rapat	0,221
		Vegetasi Cukup Rapat	0,183
		Vegetasi Rapat	0,048

Adapun diagram visualisasi bobot tiap parameter tanah longsor berdasarkan metode Fuzzy-AHP dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Diagram Bobot Parameter

Keterangan :

- KL = Kemiringan Lereng
- S = Sesar
- H = Hidrologi (Kepadatan Drainase)
- JT = Jenis Tanah
- CH = Curah Hujan
- G = Geologi
- PL = Penggunaan Lahan
- A = Arah Kemiringan Lereng (Aspect)
- KV = Kerapatan Vegetasi (NDVI)

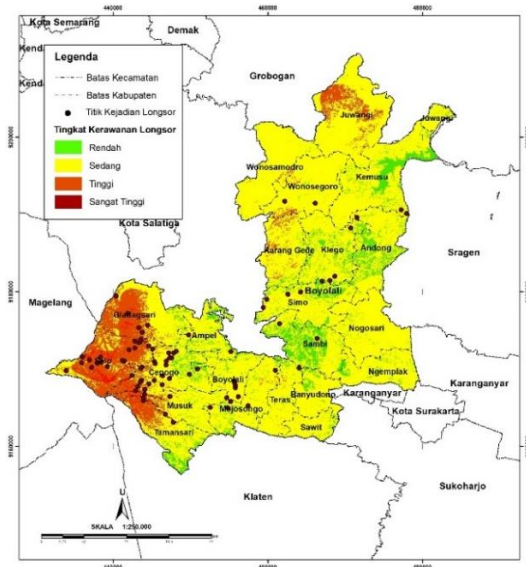
Hasil pembobotan di atas merupakan hasil pengolahan yang melibatkan Bapak Noviyanto Purnomohadi S.T., dari Dinas PU Kabupaten Boyolali dimana beliau memiliki keahlian khususnya di bidang spasial. Nilai *Consistency Ratio* (CR) yang diperoleh berdasarkan hasil pengolahan adalah 0,087. Nilai tersebut sudah memenuhi syarat tingkat konsistensi yaitu nilai CR<0,1.

Berdasarkan Gambar 12, parameter kelerengan memiliki bobot paling tinggi yaitu dengan persentase sebesar 27,8%, kemudian diikuti dua parameter yang juga memiliki persentase yang tinggi yaitu curah hujan dengan persentase sebesar 20,7% dan kepadatan drainase dengan persentase sebesar 20,7%. Hal ini sesuai dengan hasil diskusi dengan Bapak Priyono S.Sos., M.M., dari BPBD Kabupaten Boyolali, dimana faktor utama yang menyebabkan bencana tanah longsor di Kabupaten Boyolali adalah tingkat kemiringan lereng dan curah hujan yang tinggi. Selain curah hujan dan tingkat kemiringan lereng, kejadian longsor di Kabupaten Boyolali juga sering terjadi di bantaran sungai, sehingga faktor kepadatan drainase juga memiliki pengaruh yang cukup tinggi.

Terdapat parameter lain yang juga mengontrol tanah longsor di Kabupaten Boyolali yaitu tutupan lahan dengan persentase bobot 7,90%, geologi dengan persentase bobot 8%, jenis tanah dengan persentase bobot 5,6%, keberadaan sesar dengan persentase bobot 5,5%, NDVI dengan persentase bobot 3,9%, dan arah kemiringan lereng atau *aspect* dengan persentase bobot 1%.

IV.3 Hasil Peta Zona Rawan Tanah Longsor Kabupaten Boyolali

Zona rawan tanah longsor Kabupaten Boyolali diklasifikasikan menjadi 4 kelas yaitu rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Adapun hasil pengolahan peta zona rawan tanah longsor Kabupaten Boyolali dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 Peta Zona Rawan Tanah Longsor Kabupaten Boyolali

Adapun kecamatan yang memiliki tingkat kerawanan tinggi dan sangat tinggi paling banyak tersebar di Kecamatan Gladagsari, Kecamatan Cepogo, Kecamatan Selo, Kecamatan Musuk, dan Kecamatan Tamansari. Hal ini sesuai dengan hasil diskusi bersama Analis Mitigasi Bencana BPBD Kabupaten Boyolali, Ibu Nadia Dwi Kusuma, S.M., dimana kecamatan-kecamatan tersebut merupakan merupakan kecamatan yang menjadi evaluasi penanganan bencana setiap tahunnya. Persentase luas zona rawan tanah longsor Kabupaten Boyolali dapat dilihat pada **Tabel IV-4**.

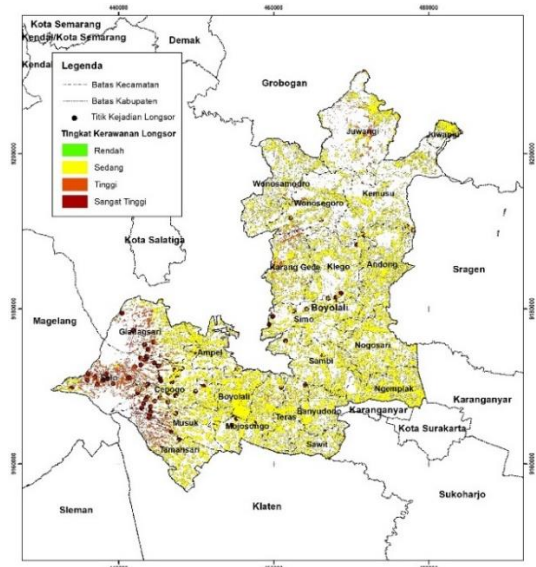
Tabel IV-4 Persentase luas kelas kerawanan longsor di Kabupaten Boyolali

Kelas Kerawanan	Luas (ha)	Persentase (%)
Rendah	10502,876	9,66
Sedang	85916,143	79,03
Tinggi	11774,626	10,83
Sangat Tinggi	518,016	0,48

Berdasarkan **Tabel IV-4**, mayoritas wilayah di Kabupaten Boyolali tergolong ke dalam kelas kerawanan sedang yaitu dengan luas wilayah 85.916,143 ha atau sebesar 79,03%. Sedangkan untuk kelas kerawanan rendah memiliki luas wilayah sebesar 10.502,876 ha atau sebesar 9,66%. Adapun untuk kelas kerawanan tinggi memiliki luas wilayah sebesar 11.774,626 ha atau sebesar 10,83%. Serta untuk kelas kerawanan sangat tinggi memiliki luas wilayah sebesar 518,016 ha atau sebesar 0,48%.

IV.4 Potensi Tanah Longsor Pada Kawasan Terbangun

Peta zona rawan tanah longsor pada kawasan terbangun dibagi menjadi 4 kelas yaitu kelas rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Berdasarkan **Gambar 14**, terdapat 5 kecamatan yang memiliki tingkat kerawanan yang tinggi yaitu Kecamatan Gladagsari, Kecamatan Musuk, Kecamatan Cepogo, Kecamatan Selo, dan Kecamatan Tamansari. Hal ini sesuai dengan data kerugian akibat longsor dari BPBD Kabupaten Boyolali tahun 2017-2021, dimana kerugian yang diterima pada 5 kecamatan tersebut tergolong tinggi.

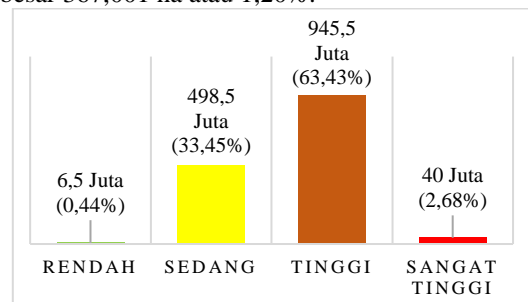


Gambar 14 Peta Zona Rawan Tanah Longsor Pada Kawasan Terbangun Kabupaten Boyolali

Tabel IV-5 Persentase Zona Rawan Tanah Longsor Pada Kawasan Terbangun

Kelas	Luas Kawasan Terbangun (ha)	Persentase (%)
Rendah	2,458	0,01
Sedang	27908,549	91,10
Tinggi	2357,629	7,70
Sangat Tinggi	367,001	1,20

Berdasarkan **Tabel IV-5**, mayoritas kerawanan longsor pada kawasan terbangun di Kabupaten Boyolali tergolong ke dalam kelas sedang. Adapun luas area dengan kelas kerawanan rendah sebesar 2,458 ha atau 0,01%, kelas kerawanan sedang sebesar 27.908,549 ha atau 91,10%, kelas kerawanan tinggi sebesar 2.357,629 ha atau 7,70%, dan kelas kerawanan sangat tinggi sebesar 367,001 ha atau 1,20%.



Gambar 15 Persentase Kerugian Akibat Bencana Longsor Tiap Kelas Kerawanan Longsor (2017-2021)

Berdasarkan **Gambar 15**, kerugian akibat bencana tanah longsor paling besar terjadi pada kelas kerawanan tinggi yaitu senilai Rp. 945.500.000,00 atau 63,43%. Hal ini mengindikasikan bahwa bencana longsor yang terjadi pada kelas tinggi merupakan bencana dengan intensitas yang tinggi. Adapun untuk kerugian pada kelas rendah senilai Rp. 6.500.000,00 atau 0,44%, kelas sedang senilai Rp. 498.508.700,00 atau 33,45%, dan kelas sangat tinggi senilai Rp. 40.000.000,00 atau 2,68%.

Potensi longsor pada kawasan terbangun dapat dikaitkan dengan nilai kerugian akibat bencana

tersebut. Nominal kerugian mampu merepresentasikan seberapa intens longsor yang terjadi. Luas lahan terbangun yang memiliki kelas kerawanan tinggi dan sangat tinggi sekitar 2724,63 ha atau sekitar 8,9% dari 30635,636 ha kawasan terbangun di Kabupaten Boyolali, artinya seluas 2724,63 ha lahan terbangun di Kabupaten Boyolali memiliki potensi kerugian yang cukup tinggi apabila terjadi bencana tanah longsor. Hal ini didasarkan pada rekapitulasi nilai kerugian akibat bencana tanah longsor dari BPBD Kabupaten Boyolali dari tahun 2017-2021. Berdasarkan peta zona rawan tanah longsor pada kawasan terbangun, terdapat 5 kecamatan yang memiliki potensi yang tinggi untuk mengalami kerugian akibat bencana tanah longsor yaitu Kecamatan Gladagsari, Kecamatan Musuk, Kecamatan Cepogo, Kecamatan Selo, dan Kecamatan Tamansari.

IV.5 Validasi Zona Rawan Longsor

Tabel IV-6 Validasi Peta Zona Rawan Tanah Longsor

No.	Desa	Kecamatan	Nominal Kerugian	Klasifikasi Kerugian	Skor	Kelas Kerawanan	Validasi
1	Lengoh	Selo	Rp 5.000.000	Sedang	2	Tinggi	Sesuai
2	Lengoh	Selo	Rp -	Rendah	1	Tinggi	Sesuai
3	Suroteleng	Selo	Rp -	Rendah	1	Tinggi	Sesuai
4	Senden	Selo	Rp 500.000	Rendah	1	Tinggi	Sesuai
5	Klakah	Selo	Rp -	Rendah	1	Tinggi	Sesuai
6	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
77	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
78	Kadipaten	Andong	Rp 3.000.000	Rendah	1	Sedang	Sesuai
79	Watugede	Kemusu	Rp 2.355.700	Rendah	1	Sedang	Sesuai
80	Watugede	Kemusu	Rp 2.500.000	Rendah	1	Sedang	Sesuai
81	Kauman	Wonosegoro	Rp 5.000.000	Sedang	2	Sedang	Sesuai
82	Kauman	Wonosegoro	Rp 50.000.000	Tinggi	3	Sedang	Sesuai
Jumlah			Rp 1.490.508.700		142		

Validasi peta dilakukan dengan menilai persentase titik kejadian tiap kelas dan nilai kerugiannya. Berdasarkan **Tabel IV-6**, validasi dilakukan berdasarkan perbandingan antara skor “sesuai” dengan total keseluruhan skor. Dari identifikasi tersebut diperoleh akurasi peta sebesar 134/142 atau 94,37%.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai pemetaan zona rawan tanah longsor di Kabupaten Boyolali, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Zona rawan tanah longsor di Kabupaten Boyolali dibagi atas 4 kelas yaitu rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Luas area pada kelas rendah sebesar 10.502,876 ha (9,66%), kelas sedang sebesar 85.916,143 ha (79,03%), kelas tinggi sebesar 11.774,626 ha (10,83%), dan kelas sangat tinggi sebesar 518,016 ha (0,48%). Adapun hasil akurasi peta yang didapatkan berdasarkan titik kejadian longsor dan nilai kerugiannya sebesar 94,37%.
2. Berdasarkan hasil pembobotan menggunakan metode *Fuzzy-AHP*, terdapat tiga parameter yang paling mempengaruhi zona rawan tanah longsor di Kabupaten Boyolali yaitu kemiringan lereng (27,8%), curah hujan (20,7%), dan kepadatan drainase atau hidrologi (20,1%). Adapun bobot pada parameter lain yaitu tutupan lahan (7,90%), geologi (8%), jenis tanah (5,6%), keberadaan

besar (5,5%), NDVI atau kerapatan vegetasi (3,9%), dan arah kemiringan lereng atau *aspect* (1%).

3. Zona rawan tanah longsor pada kawasan terbangun di Kabupaten Boyolali terbagi menjadi 4 kelas yaitu rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Luas area terbangun dengan kerawanan rendah sebesar 2,458 ha (0,01%), kerawanan sedang sebesar 27.908,549 ha (91,10%), kerawanan tinggi 2.357,629 ha (7,70%) dan kerawanan sangat tinggi sebesar 367,001 ha (1,20%).

V.2 Saran

Adapun saran dari peneliti setelah dilakukan penelitian mengenai analisis zona rawan tanah longsor di Kabupaten Boyolali menggunakan metode *Fuzzy-AHP* sebagai berikut:

1. Sebaiknya menggunakan perangkat keras yang memiliki spesifikasi yang baik sehingga dapat memperlancar dalam pengolahan data.
2. Diperlukan data penelitian yang terbaru sehingga peta yang dihasilkan mampu merepresentasikan kondisi lapangan secara lebih aktual.
3. Perlu dilakukan studi mendalam mengenai daerah penelitian sehingga parameter yang digunakan merupakan parameter terbaik dalam menentukan zona rawan tanah longsor di wilayah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Arnanto, A. (2013). Pemanfaatan Transformasi *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) Citra Landsat TM untuk Zonasi Vegetasi di Lereng Merapi Bagian Selatan. Yogyakarta : Sekolah Tinggi Pertanian Nasional.

BNPB. (2012). *Tanggap Tangkas Tangguh Menghadapi Bencana*. Jakarta Pusat: BNPB.

Buckley, J. J. (1985). *Fuzzy Hierarchical Analysis. Fuzzy sets and systems*, 17, 233-247.

Muhsoni, F. F. (2015). *Penginderaan Jauh (Remote Sensing)*. Bangkalan: UTM PRESS.

Murai, S. (2007). *Pengantar GIS. GIS Workbook Vol 1*. Diterjemahkan Oleh Tri Agus Prayitno. Tokyo: University Of Tokyo.

Norhikmah, Rumini, dan Henderi. (2013). Metode *Fuzzy AHP Dan AHP Dalam Penerapan Sistem Pendukung Keputusan. Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia*, 31-38.

Purwanto, T. H. (2015). *Digital Terrain Modelling*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Sutanto. (1994). *Penginderaan Jauh Jilid 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Trisakti, B. (2010). *Pengembangan Metode Ekstraksi DEM (Digital Elevation Model) Dari Data ALOS PRISM*. Jakarta: Pusbangja, LAPAN.

Xie, Y., Lei, M., dan Chen, T. B. (2011). Spatial Distribution of Soil Heavy Metal Pollution Estimated by Different Interpolation. *Chemosphere*, 468-876.