



Zonasi kerawanan longsor dan strategi arahan mitigasi longsor di DAS Merawu Banjarnegara

Muhammad Chrisna Satriagasa ^{a, 1*}, Hatma Suryatmojo ^{a, 2}, Ambar Kusumandari ^{a, 3}

^a Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan, Fakultas Kehutanan UGM, Yogyakarta, INDONESIA

¹ m.chrisna.s@mail.ugm.ac.id*; ² hsuryatmojo@ugm.ac.id; ³ ambar.kusumandari@ugm.ac.id

*korespondensi penulis

Informasi artikel	A B S T R A K
<p><i>Sejarah artikel</i></p> <p>Diterima : 31 September 2020</p> <p>Revisi : 25 November 2020</p> <p>Dipublikasikan : 30 November 2020</p>	<p>Daerah Aliran Sungai Merawu, Kabupaten Banjarnegara memiliki kerawanan longsor yang tinggi. Perulangan longsor menyebabkan gangguan bagi kehidupan dan penghidupan masyarakat. Penelitian ini bertujuan menentukan zonasi kerawanan longsor dan menentukan strategi mitigasi longsor di DAS Merawu. Inventori longsor dilakukan menggunakan tiga pendekatan yaitu terestris, menggunakan citra satelit, dan dari literatur. Penelitian ini menggunakan <i>analytic hierarchy process</i> (AHP) untuk menentukan besar pengaruh setiap parameter lingkungan terhadap kejadian longsor sebagai dasar penyusunan peta kerawanan longsor. Metode AHP juga digunakan untuk menentukan jenis mitigasi longsor terbaik. Penelitian ini menunjukkan bahwa pada wilayah kajian terdapat 256 longsor, mayoritas berupa longsor tipe <i>slide</i>, dengan material utama tanah, dan termasuk <i>deep slide</i>. Longsor banyak terjadi pada wilayah dengan tanah mediteran merah tua dan regosol, formasi geologi Halang (Tmph), <i>stream density</i> 1,4-2,8 km/km², lereng 25-45%, dan tutupan lahan semak belukar. Wilayah dengan kerawanan tertinggi terletak pada bagian tengah DAS. Jenis mitigasi longsor terbaik untuk wilayah ini yaitu penanaman vegetasi.</p>
<p>Kata kunci:</p> <p>Tanah longsor</p> <p>Mitigasi bencana</p> <p>Kerawanan longsor</p> <p>Inventori longsor</p> <p><i>Analytic hierarchy process</i> (AHP)</p>	<p>A B S T R A C T</p> <p>Banjarnegara, especially the Merawu Watershed, is a landslide-prone area. Recurring landslides disrupt people's lives and livelihoods. This study aims to determine the landslide susceptibility zone and determine landslide mitigation strategies in the Merawu Watershed. Landslide inventory was carried out using three approaches: terrestrial-based, satellite imagery-based, and literature-based. This study uses the analytic hierarchy process (AHP) to determine the influence of each environmental parameter on landslide events as the basis for compiling a landslide susceptibility map. The AHP method is also used to determine the best type of landslide mitigation. In the study area, we found 256 landslides, mostly deep soil slide-type. Landslides mostly occur in dark red mediterranean soil and regosol, Halang formations (Tmph), stream density 1.4-2.8 km / km², slopes 25-45%, and scrubland. The area with the highest susceptibility is located in the middle of the watershed. The best type of landslide mitigation for this area is vegetation planting.</p>

© 2020 (Muhammad Chrisna Satriagasa, Hatma Suryatmojo, Ambar Kusumandari). All Right Reserved

Pendahuluan

Tanah longsor merupakan salah satu bencana hidrometeorologis yang terjadi secara luas di dunia. Meskipun demikian, kejadian longsor di wilayah Asia merupakan yang tertinggi di dunia (Froude & Petley, 2018). Fenomena ini terjadi utamanya pada wilayah yang berlempeng terjal dan memiliki curah hujan tinggi. Hal ini diperparah dengan intervensi manusia dalam berbagai bentuk di wilayah berlempeng terjal misalnya pertambangan illegal, pembangunan infrastruktur, pemotongan lereng illegal (Froude & Petley, 2018; Holcombe, Beesley, Vardanega, & Sorbie, 2016) dan pertanian intensif (Perotto-Baldiviezo, Thurow, Smith, Fisher, & Wu, 2004). Dalam hal ini, Kabupaten Banjarnegara termasuk salah satu hotspot kejadian longsor di Indonesia (dibi.bnpb.go.id).

Longsor di dunia tercatat menyebabkan kerugian yang besar baik dari hilangnya nyawa, hilangnya harta benda, serta hilangnya penghidupan masyarakat (Petley, 2012; Schuster & Fleming, 1986). Hal yang sama terjadi di wilayah DAS Merawu. Dari catatan kejadian tanah longsor yang telah terjadi di waktu yang lalu, kerugian yang dihasilkan terhitung tidak sedikit (CNN Indonesia, 2019, 2020; Fahmi, 2018; Hartono, 2019a, 2019b; Ridlo, 2018). Salah satu kejadian longsor yang cukup diperhitungkan yaitu longsor Jemblung yang terjadi pada tahun 2014 yang telah menghilangkan satu dusun, merenggut ratusan jiwa dan menghilangkan harta benda dan seluruh objek yang berada pada lintasan longsor.

Upaya pengurangan risiko longsor melalui mitigasi bencana longsor perlu dilakukan untuk mengantisipasi dan mengurangi risiko tanah longsor yang akan terjadi di waktu yang akan datang. Zonasi wilayah rawan bencana merupakan salah satu bentuk mitigasi yang perlu dilakukan untuk mengetahui wilayah yang memiliki probabilitas terbesar terjadi longsor sehingga dapat diantisipasi sedini mungkin. Selain itu pemilihan strategi mitigasi juga perlu dilakukan untuk mengurangi potensi terjadinya longsor pada wilayah yang rawan. Oleh karena itu

penelitian ini memiliki dua tujuan, yaitu a) melakukan zonasi kerawanan bencana tanah longsor, dan b) menentukan strategi mitigasi bencana tanah longsor di DAS Merawu.

Metode

Daerah Aliran Sungai Merawu merupakan salah satu Sub-DAS dari DAS Serayu dengan luas total 23.260 Ha. Secara administratif DAS Merawu terletak di Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah. Hulu DAS Merawu terletak pada kompleks dataran tinggi Dieng sedangkan hilirnya masuk pada Waduk Mrica atau dikenal juga dengan nama Waduk Jendral Soedirman.

Penelitian ini menggunakan beberapa data diantaranya : (a) peta jaringan sungai 1:25.000, (b) peta kontur elevasi 1:25.000, (c) peta penggunaan lahan 1:25.000, (d) peta geologi 1:100.000, (e) peta tanah 1:25.000, dan (f) karakteristik teknik mitigasi longsor. Data a hingga c diperoleh dari Badan Informasi Geospasial melalui Ina-Geoportal (tanahair.indonesia.go.id). Data d diperoleh dari Badan Geologi. Data e diperoleh dari Balai Penelitian Tanah. Data f diperoleh dari Landslide Risk Mitigation Toolbox/LaRiMiT (larimit.com).

Inventori Kejadian Longsor

Inventori kejadian longsor dilakukan dengan tiga metode yaitu :

1. inventori longsor menggunakan citra satelit pada aplikasi Google Earth : inventori longsor yang dilakukan menggunakan interpretasi citra satelit yang ada pada aplikasi Google Earth. Peneliti menggunakan fitur pencitraan historis untuk melakukan inventori longsor multi temporal ([Gambar 1a](#)).
2. inventori longsor terestris : inventori longsor yang dilakukan dengan cara survey langsung di lapangan ([Gambar 1b](#)).
3. perolehan dari literatur : peta sebaran longsor dari penelitian terdahulu. Peneliti menggunakan artikel yang ditulis oleh [Utama dan Jiwaningrat \(2017\)](#).



(a)



(b)

Gambar 1. Teknik inventori Kejadian Longsor (a) inventori longsor menggunakan Google Earth dan (b) inventori longsor secara terestris

Informasi yang diperoleh dari ketiga metode berupa koordinat kejadian longsor sehingga dapat dipetakan lokasinya pada DAS Merawu. Informasi tambahan berupa tipe longsor, dimensi (luas & dalam), dan material longsor. Kegiatan inventori kejadian longsor menghasilkan dua produk, yaitu peta distribusi kejadian longsor di DAS Merawu bertipe *vektor* dalam format *shapefile* dan karakteristik longsor pada umumnya di lokasi kajian.

Kepadatan Longsor Per Kelas Parameter Fisik DAS

Penelitian ini menggunakan 6 parameter fisik yang digunakan untuk penentuan kerawanan longsor. Lima dari enam parameter pernah digunakan dalam kajian zonasi kerawanan longsor yang dilakukan oleh Hasekiogullari & Ercanoglu, (2012), Kumar & Anbalagan (2016), Nguyen & Liu, (2019), dan Pourghasemi, Pradhan, & Gokceoglu, (2012) diantaranya yaitu aspek/arah hadap lereng, formasi geologi, kepadatan aliran sungai, kemiringan lereng, dan penggunaan lahan.

Penelitian ini menambahkan satu parameter yang dianggap mempengaruhi kejadian longsor di wilayah kajian, yaitu tipe tanah. Seluruh parameter fisik yang digunakan dalam penelitian ini disusun dalam peta bertipe *vektor* dalam format *shapefile* yang melingkupi wilayah kajian. Setiap parameter fisik dibagi menjadi beberapa kelas yang memberikan info lebih detail terkait variasi karakteristik dalam satu parameter misalnya pada parameter kemiringan lereng dibagi menjadi per kelas kemiringan lereng. Informasi detail mengenai kelas pada setiap parameter disajikan dalam Lampiran 1.

Keenam parameter yang digunakan dalam penelitian ini di *overlay* dengan kejadian longsor menggunakan software sistem informasi geografis ArcGIS 10.8. Penentuan kepadatan longsor (D_i) pada setiap parameter dilakukan dengan menghitung luasan longsor yang ditemukan pada setiap kelas (L_i) dibagi dengan total luasan kejadian longsor (A_i), secara matematis disajikan pada persamaan 1.

$$D_i = \frac{L_i}{A_i} \dots(1)$$

Zonasi Kerawanan Longsor

Zonasi kerawanan longsor di wilayah kajian dilakukan dengan metode *analytical hierarchy process* (AHP) baik untuk menentukan urutan kepentingan setiap parameter maupun untuk penentuan urutan kepentingan kelas dalam setiap parameter. Untuk menentukan tingkat kepentingan parameter dilakukan pembuatan *matrix pairwise* yang melibatkan keenam parameter yang digunakan dalam penelitian ini. Pembuatan *matrix pairwise* juga dilakukan terhadap kepadatan longsor yang telah dihasilkan pada tahap sebelumnya untuk mencari urutan kepentingan kelas dalam setiap parameter. Ilustrasi *matrix pairwise* yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 2.

Bobot/*weight* (W_i) setiap kelas dalam satu parameter merupakan perbandingan antara kepadatan longsor setiap kelas (D_i) dengan total rasio kepadatan longsor ($\sum_{i=1}^n D_i$) atau dihitung berdasarkan persamaan 2.

$$\begin{bmatrix} 1 & D_{12} & D_{1n} \\ D_{21} & 1 & D_{2n} \\ D_{n1} & D_{n2} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{D_1}{D_2} & \frac{D_1}{D_n} \\ \frac{D_2}{D_1} & 1 & \frac{D_2}{D_n} \\ \frac{D_n}{D_1} & \frac{D_n}{D_2} & 1 \end{bmatrix}$$

Gambar 2. matrix pairwise

$$Wi = \frac{Di}{\sum_{i=1}^n Di} \dots(2)$$

Nilai Wi yang dihasilkan merupakan nilai bobot dari kelas tiap parameter fisik untuk menentukan zonasi kerawanan longsor di DAS Merawu. Nilai Wi pada setiap parameter (aspek (AS), tanah (TN), geologi (GE), *stream density* (SD), kemiringan lereng (SL), dan penggunaan lahan (PL)) dijumlahkan menggunakan persamaan 3 yang merupakan hasil dari pengolahan matrix pairwise.

$$\text{Skor Kerawanan Longsor} = (AS \times 0,065) + (TN \times 0,256) + (GE \times 0,352) + (SD \times 0,042) + (SL \times 0,108) + (PL \times 0,174) \dots (3)$$

Kelas kerawanan longsor dalam penelitian ini dibagi menjadi 5 kelas, yaitu rawan sangat rendah hingga sangat rawan. Pembagian kelas kerawanan longsor ditentukan berdasarkan Tabel 1 yang merupakan hasil dari penghitungan skor kerawanan longsor di wilayah kajian.

Tabel 1. Klasifikasi Longsor

Skor Kerawanan Longsor	Klasifikasi
0,0219 - 0,1061	Rawan sangat rendah
0,1062 - 0,1735	Rawan rendah
0,1736 - 0,2519	Rawan sedang
0,2520 - 0,3471	Rawan
0,3472 - 0,5110	Sangat rawan

Evaluasi validitas model AHP dilakukan dengan menghitung nilai tiga indikator evaluasi yaitu λ_{max} , *consistency index* (CI), *consistency ratio* (CR). Nilai λ_{max} merupakan penjumlahan dari hasil kali total nilai perbandingan pairwise ($\sum_{i=1}^n Di$) dengan total nilai rata-rata eigen value ($\sum_{j=1}^n Dj$).

Consistency index merupakan pembagian antara selisih nilai λ_{max} dan jumlah parameter (n) dengan jumlah parameter dikurangi 1 (n-1). *Consistency ratio* merupakan perbandingan antara *consistency index* dengan *random index* (RI). *Random Index* disajikan dalam Tabel 2. Nilai CR yang diharapkan yaitu kurang dari 0,1.

Tabel 2. Random Index (RI)

n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41
n	9	10	11	12	13	14	15	
RI	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59	

Sumber : Kwiesielewicz & van Uden (2004)

Perhitungan λ_{max} , CI, dan CR secara matematis disajikan pada persamaan 4, 5, dan 6.

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n Di \sum_{j=1}^n Dj \dots(4)$$

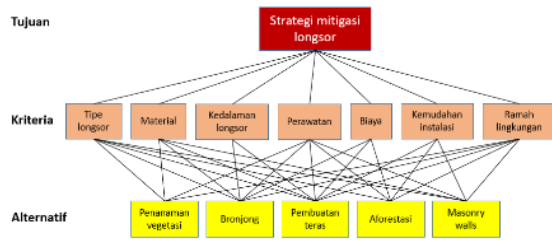
$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \dots(5)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \dots(6)$$

Pemilihan Strategi Mitigasi Longsor

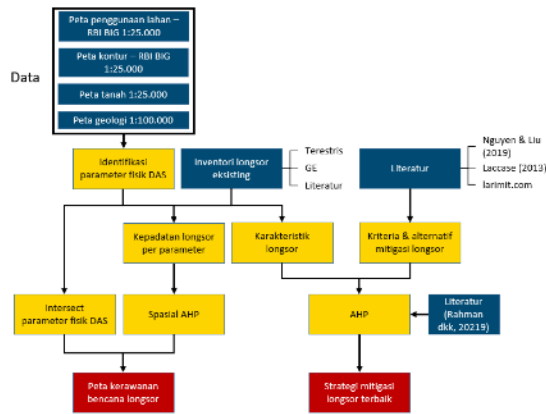
Strategi mitigasi longsor merupakan pilihan upaya yang dapat digunakan untuk mengurangi risiko longsor dari aspek pengurangan bahaya. Terdapat sangat banyak pilihan mitigasi longsor yang dapat digunakan. Salah satu database teknik mitigasi longsor yang memuat berbagai macam pilihan teknik dan karakteristiknya yaitu *Landslide Risk Mitigation Toolbox/LaRiMiT* (larimit.com).

Peneliti mengambil lima opsi mitigasi longsor dari website *larimit* beserta dengan karakteristiknya yaitu penanaman vegetasi, bronjong, pembuatan teras, aforestasi, dan *masonry walls*. Karakteristik yang digunakan dalam pemilihan teknik mitigasi longsor terbaik yaitu sebanyak tujuh kriteria, yaitu tipe longsor, material, kedalaman longsor, perawatan, biaya, kemudahan instalasi, dan ramah lingkungan. Pemilihan mitigasi terbaik dilakukan dengan metode *analitical hierarchy process* dengan skema seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan menggunakan prosedur yang sama dengan AHP Zonasi longsor.



Gambar 3. Hierarki AHP Strategi Mitigasi Longsor

Secara ringkas, metode penelitian ini disajikan pada diagram alir yang disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Hasil dan pembahasan

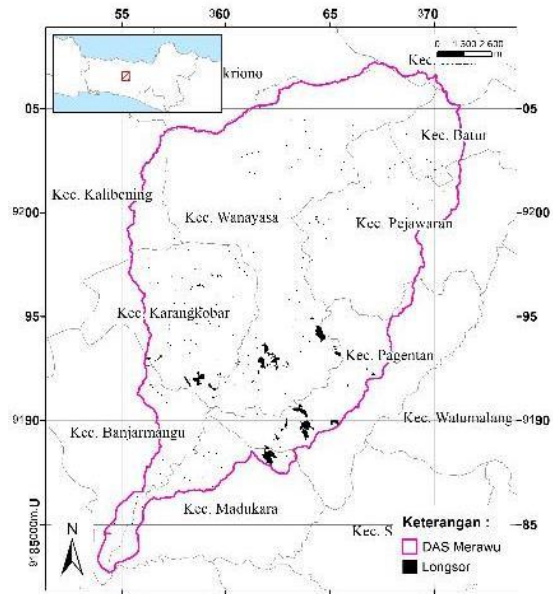
Distribusi Spasial Kejadian Longsor

Inventori kejadian longsor merupakan sumber data utama yang digunakan untuk menentukan kerawanan longsor pada wilayah kajian. Inventori dari ketiga metode yang digunakan dalam penelitian ini menghasilkan jumlah longsor teridentifikasi sebanyak 256 kejadian. Jumlah longsor teridentifikasi dari tiap jenis sumber data disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Jumlah Longsor Teridentifikasi

Sumber data	Jumlah longsor
Inventori longsor terestris	45
Inventori longsor menggunakan GE	55
Literatur : Utama (2017)	156
TOTAL	256

Kejadian longsor terbanyak dihasilkan oleh inventori longsor dari literatur yaitu sebanyak 156 kejadian. Distribusi spasial longsor disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta Distribusi Longsor

Hasil identifikasi longsor menghasilkan karakteristik longsor di wilayah kajian pada umumnya (Gambar 6). Berdasarkan tipe longsor Cruden & Varnes (1996), tipe longsor umumnya di wilayah kajian merupakan tipe luncuran atau *slide*. Material longsor di wilayah kajian umumnya berupa tanah sedangkan kedalaman longsor pada umumnya yaitu dalam atau *deep slide* (5 s.d <20 m).



Gambar 6. Bentuk Longsor di Wilayah Kajian

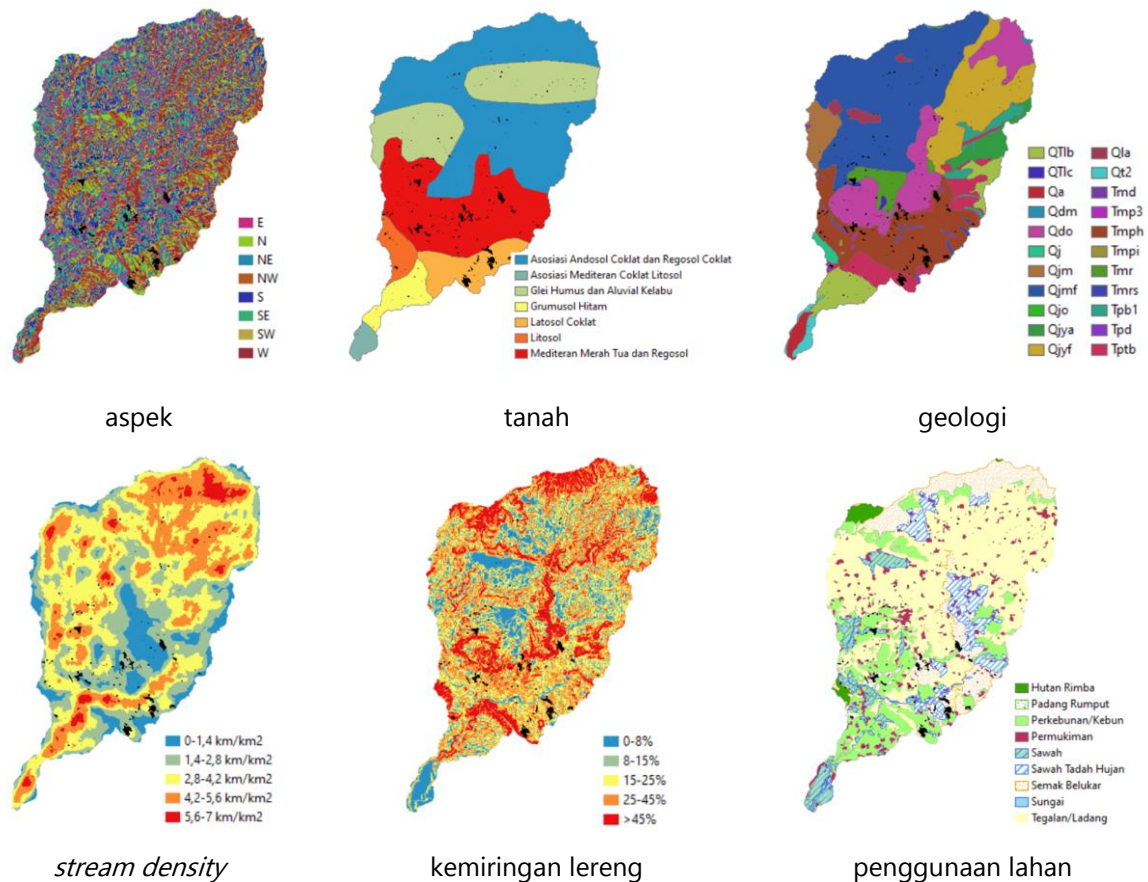
Parameter Fisik DAS dan Kerapatan Longsor

Zonasi kerawanan longsor dilakukan dengan menentukan parameter fisik yang mengalami frekuensi dan akumulasi longsor terluas. Hal ini sesuai dengan pernyataan James Hutton pada tahun 1788 "The Present is Key to The Past" yang jika diimplikasikan pada kasus ini bahwa kejadian longsor yang ditemukan pada kondisi fisik tertentu menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki kerawanan. Tentunya, di waktu yang akan datang, pada wilayah yang sama akan terjadi perulangan kejadian longsor. Penelitian ini menggunakan 6 parameter fisik dalam menentukan zonasi kerawanan longsor, yaitu aspek/arah hadap lereng, tanah, geologi, stream density, kemiringan lereng, dan penggunaan lahan (Gambar 7).

Analisis kepadatan longsor setiap parameter menunjukkan bahwa setiap kelas memiliki kepadatan longsor yang berbeda. Hasil

analisis menunjukkan bahwa kejadian longsor terjadi paling banyak pada tanah mediteran merah tua dan regosol, formasi geologi halang (Tmph), stream density 1,4-2,8 km/km². Parameter arah hadap lereng/aspek tidak menunjukkan adanya kelas yang dominan. Meskipun demikian, longsor lebih banyak ditemui pada lereng yang menghadap barat dibandingkan lereng yang menghadap arah lainnya. Berdasarkan hal ini, lahan di DAS Merawu yang memiliki satu atau kombinasi dari kondisi tersebut merupakan lokasi yang memiliki kerawanan lebih tinggi dibandingkan wilayah lainnya.

Hasil uji validitas model seperti yang disajikan pada Tabel 4 menunjukkan bahwa model AHP untuk zonasi kerawanan longsor terbukti valid dengan nilai CR<0,1.



Gambar 7. Parameter Fisik DAS Merawu

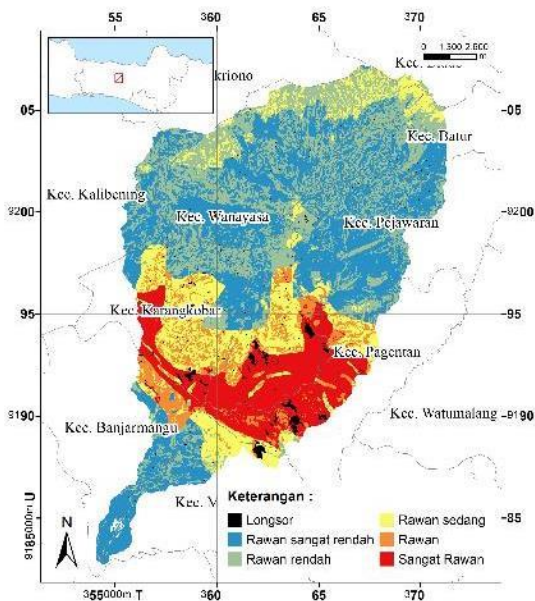
Tabel 4. Evaluasi Validitas Model AHP

Parameter	Nilai
λ_{max}	6,12
CI	0,023
RI	1,24
CR	0,019

Zonasi Kerawanan Longsor

Analisis kepadatan longsor digunakan untuk menentukan kepekaan kelas dalam setiap parameter untuk terjadi longsor. Berdasarkan hasil tersebut, maka dapat dibuat matriks pairwise untuk membandingkan setiap kelas dalam parameter seperti yang disajikan pada Lampiran 2. Hasil tersebut kemudian digunakan untuk melakukan penyusunan peta kerawanan longsor pada wilayah kajian.

Zonasi kerawanan longsor yang disajikan pada Gambar 8 menunjukkan bahwa DAS Merawu memiliki kerawanan longsor yang sangat rawan pada wilayah tengah DAS atau pada wilayah administrasi Kecamatan Karang Kobar, Kecamatan Wanayasa, dan Kecamatan Pagentan. Pada wilayah dengan kelas kerawanan sangat rawan dan rawan, ditemukan banyak kejadian longsor dan dengan dimensi longsor berukuran besar.



Gambar 8. Peta Kerawanan Longsor DAS Merawu

Oleh karenanya, lokasi yang memiliki kelas kerawanan tinggi dan sangat tinggi perlu

ditingkatkan kewaspadaanya karena probabilitas terjadinya longsor lebih tinggi dibandingkan lokasi lainnya.

Pemilihan Strategi Mitigasi Longsor

Bagian Pemilihan strategi mitigasi longsor dilakukan dengan analisis *analitical hierarcy process* (AHP) menggunakan tujuh kriteria yaitu tipe longsor, material, kedalaman longsor, perawatan, biaya, kemudahan, dan ramah lingkungan. Analisis menggunakan matriks *pairwise* seperti yang ada pada Tabel 5 digunakan untuk menentukan tingkat kepentingan kriteria pemilihan strategi mitigasi longsor terbaik.

Tabel 5. Matriks Kriteria Strategi Mitigasi Longsor

	T	M	K	P	B	G	R
T	1	4	4	3	3	3	3
M	1/4	1	1/2	3	3	3	3
K	1/4	2	1	3	3	3	3
P	1/3	1/3	1/3	1	2	2	2
B	1/3	1/3	1/3	1/2	1	4	3
G	1/3	1/3	1/3	1/2	1/4	1	1/2
R	1/3	1/3	1/3	1/2	1/3	2	1

Keterangan : (T) tipe longsor, (M) material, (K) kedalaman longsor, (P) perawatan, (B) biaya, (G) kemudahan, (R) ramah lingkungan

Hasil uji validitas model seperti yang disajikan pada Tabel 6 menunjukkan bahwa seluruh model AHP untuk kriteria strategi mitigasi longsor terbukti valid dengan nilai $CR < 0,1$.

Tabel 6. Evaluasi Validitas Model AHP

	Nilai						
	T	M	K	P	B	G	R
λ_{max}	5,12	5,23	5,12	5,13	5,12	5,07	5,05
CI	0,03	0,06	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01
RI	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
CR	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01

Keterangan : (T) tipe longsor, (M) material, (K) kedalaman longsor, (P) perawatan, (B) biaya, (G) kemudahan, (R) ramah lingkungan

Matriks *pairwise* juga digunakan untuk menentukan tingkat kepentingan antar tipe teknik mitigasi longsor. Penelitian ini menggunakan lima

jenis teknik mitigasi yaitu penanaman vegetasi, aforestasi, bronjong, *masonry walls*, dan pembuatan teras seperti yang disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Matriks Alternatif Per Kriteria

	V	A	B	M	T
V	1	7	1	3	3
A	0,14	1	0,14	0,2	0,2
B	1	7	1	3	3
M	0,33	5	0,33	1	1
T	0,33	5	0,33	1	1
TOTAL	2,8	25,0	2,8	8,2	8,2

Keterangan : (V) penanaman vegetasi, (A) aforestasi, (B) bronjong, (M) masonry walls, (T) pembuatan teras

Hasil dari analisis matriks pairwise kemudian diolah hingga menghasilkan nilai total. Alternatif mitigasi bencana longsor terbaik merupakan alternatif yang memiliki nilai total tertinggi. Nilai total dan ranking setiap alternatif teknik mitigasi longsor dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Pemilihan Strategi Mitigasi Longsor

ALTERNATIF	TOTAL	RANK
Penanaman vegetasi	0,238	1
Bronjong	0,232	2
Pembuatan teras	0,222	3
Aforestasi	0,157	4
<i>Masonry walls</i>	0,149	5

Hasil yang ditunjukkan oleh Tabel 8 menunjukkan bahwa alternatif terbaik untuk mitigasi longsor di wilayah kajian adalah menggunakan penanaman vegetasi. Meskipun demikian, penelitian ini masih belum dapat menjelaskan secara lebih lanjut vegetasi apa dan pola tanam yang terbaik dalam pengurangan bahaya longsor di wilayah kajian.

Simpulan

DAS Merawu memiliki kerawanan longsor yang perlu diwaspadai terutama pada wilayah tengah. Riwayat longsor terdahulu tidak hanya mengganggu aktivitas dan menyebabkan

kerugian ekonomi, tetapi juga menyebabkan hilangnya ratusan nyawa penduduk. Penanaman vegetasi merupakan alternatif terbaik sebagai strategi mitigasi longsor untuk mengurangi potensi terjadinya longsor di lokasi yang sama atau dengan karakteristik serupa dengan longsor yang terjadi di masa lalu.

Penelitian ini telah berhasil melakukan zonasi wilayah yang perlu diprioritaskan untuk dilakukan mitigasi bencana serta salah satu alternatif terbaik yang dapat digunakan berupa penanaman vegetasi. Meskipun demikian, penelitian ini belum dapat menjelaskan jenis vegetasi serta pola tanam terbaik untuk mencegah dan/atau mengurangi kejadian longsor di waktu yang akan datang. Selain itu, mitigasi longsor tidak semata hanya diselesaikan menggunakan pendekatan mitigasi struktural. Perlu upaya penguatan kapasitas penduduk melalui berbagai mitigasi non struktural sehingga risiko longsor di masa yang akan datang dapat dikurangi baik dari aspek bahaya/*hazard*, kerentanan/*vulnerability*, maupun pada aspek kapasitas/*capacity*.

Ucapan terima kasih

Penelitian ini didanai oleh hibah penelitian dosen junior Fakultas Kehutanan UGM tahun 2020. Peneliti mengucapkan terimakasih pada seluruh pihak yang terlibat dalam pengerjaan penelitian & penulisan artikel.

Referensi

- CNN Indonesia. (2019). Longsor di Banjarnegara, Satu Orang Tewas Tertimbun. Retrieved February 28, 2020, from CNN Indonesia website: <https://www.cnnindonesia.com/nasional/20191102134427-20-445068/longsor-di-banjarnegara-satu-orang-tewas-tertimbun>
- CNN Indonesia. (2020). Hujan Lebat Sepanjang Hari, Banjarnegara Diterjang Longsor. Retrieved February 28, 2020, from CNN Indonesia website: <https://www.cnnindonesia.com/nasional/2020109104727-20-463759/hujan-lebat-sepanjang-hari-banjarnegara-diterjang-longsor>

- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). *Landslide Types and Processes*. Denver: Transportation Research Board US National Academy of Sciences.
- Fahmi, M. I. (2018). Longsor Banjarnegara, Jalan Provinsi Tertimbun Tanah Setinggi 2 Meter. Retrieved February 28, 2020, from Kompas.com website: <https://regional.kompas.com/read/2018/02/09/19203491/longsor-banjarnegara-jalan-provinsi-tertimbun-tanah-setinggi-2-meter>
- Froude, M. J., & Petley, D. N. (2018). Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. *Natural Hazards Earth System Sciences*, *18*(1), 2161–2181.
- Hartono, U. (2019a). Hujan Deras, Longsor di Banjarnegara Tutup Sejumlah Akses Jalan. Retrieved February 28, 2020, from Detik News website: <https://news.detik.com/berita-jawa-tengah/d-4480040/hujan-deras-longsor-di-banjarnegara-tutup-sejumlah-akses-jalan>
- Hartono, U. (2019b). Jalan Longsor, Aktivitas Warga 3 Desa di Banjarnegara Terhambat. Retrieved February 28, 2020, from Detik News website: <https://news.detik.com/berita-jawa-tengah/d-4390856/jalan-longsor-aktivitas-warga-3-des-a-di-banjarnegara-terhambat>
- Hasekiogullari, G. D., & Ercanoglu, M. (2012). A new approach to use AHP in landslide susceptibility mapping a case study at Yenice. *Natural Hazards*, *63*, 1157–1179.
- Holcombe, E. A., Beesley, M. E. W., Vardanega, P. J., & Sorbie, R. (2016). Urbanisation and landslides: hazard drivers and better practices. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Civil Engineering*, *169*(3), 137–144.
- Kumar, R., & Anbalagan, R. (2016). Landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process (AHP) in Tehri reservoir rim region, Uttarakhand. *Journal of the Geological Society of India*, *87*(3), 271–286. <https://doi.org/10.1007/s12594-016-0395-8>
- Kwiesielewicz, M., & van Uden, E. (2004). Inconsistent and contradictory judgements in pairwise comparison method in the AHP. *Computers and Operations Research*, *31*(5), 713–719. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(03\)00022-4](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(03)00022-4)
- Nguyen, T. T. N., & Liu, C. C. (2019). A new approach using AHP to generate landslide susceptibility maps in the chen-yu-lan watershed, Taiwan. *Sensors*, *19*(3). <https://doi.org/10.3390/s19030505>
- Perotto-Baldiviezo, H. L., Thurow, T. L., Smith, C. T., Fisher, R. F., & Wu, X. B. (2004). GIS-based spatial analysis and modeling for landslide hazard assessment in steeplands, southern Honduras. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *103*(1), 165–176. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.10.011>
- Petley, D. (2012). Global patterns of loss of life from landslides. *Geology*, *40*(10), 927–930. <https://doi.org/10.1130/G33217.1>
- Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., & Gokceoglu, C. (2012). Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Natural Hazards*, *63*(2), 965–996. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0217-2>
- Ridlo, M. (2018). Longsor Banjarnegara, 50 Orang Mengungsi 600 Lainnya Terisolir. Retrieved February 28, 2020, from Liputan6.com website: <https://www.liputan6.com/regional/read/3219574/longsor-banjarnegara-50-orang-mengungsi-600-lainnya-terisolir>
- Schuster, R. L., & Fleming, R. W. (1986). Economic Losses and Fatalities Due To Landslides. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, Vol. 23, pp. 11–28. <https://doi.org/10.2113/gseegeosci.xxiii.1.11>
- Utama, G; Jiwaningrat, Y. (2017). *Increasing Capacity of Landslides Hazard Risk reduction in Merawu Sub-Watershed Banjarnegara Regency*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/321886344>

Lampiran 1. Sub-Parameter pada Setiap Parameter Fisik DAS Merawu

	Aspek	Tanah	Geologi	Parameter		Penggunaan lahan
				Kerapatan Aliran	Lereng	
Kelas	N	Asosiasi Andosol	Qa	0-1,4 km/km ²	0-8%	Hutan Rimba
	NE	Coklat dan	Qdo	1,4-2,8 km/km ²	8-15%	Padang Rumput
	E	Regosol Coklat	Qjm	2,8-4,2 km/km ²	15-25%	Perkebunan/Kebun
	SE	Asosiasi	Qjmf	4,2-5,6 km/km ²	25-45%	Permukiman
	S	Mediteran	Qjyf	5,6-7 km/km ²	>45%	Sawah
	SW	Coklat Litosol	Qla			Sawah Tadah Hujan
	W	Glei Humus dan	Qt2			Semak Belukar
	NW	Aluvial Kelabu	QTlb			Sungai
		Grumusol Hitam	QTlc			Tegalan/Ladang
		Latosol Coklat	Tmd			
		Litosol	Tmph			
		Mediteran	Tmr			
		Merah Tua dan	Tpb1			
		Regosol	Tpd			
		Tptb				

Lampiran 2. Matriks Pairwise Zonasi Kerawanan Longsor

		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	W
Aspek	D1	1,0	1,4	1,3	1,1	1,7	1,4	0,9	1,4								0,2
	D2	0,7	1,0	1,0	0,8	1,3	1,0	0,7	1,0								0,1
	D3	0,7	1,0	1,0	0,8	1,3	1,0	0,7	1,0								0,1
	D4	0,9	1,3	1,2	1,0	1,6	1,3	0,9	1,3								0,1
	D5	0,6	0,8	0,8	0,6	1,0	0,8	0,5	0,8								0,1
	D6	0,7	1,0	1,0	0,8	1,3	1,0	0,7	1,0								0,1
	D7	1,1	1,5	1,5	1,2	1,9	1,5	1,0	1,5								0,2
	D8	0,7	1,0	1,0	0,8	1,3	1,0	0,7	1,0								0,1
Tanah	D1	1,0	42,8	0,8	2,5	0,1	1,4	0,1									0,0
	D2	0,0	1,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0									0,0
	D3	1,3	57,0	1,0	3,3	0,2	1,8	0,1									0,1
	D4	0,4	17,0	0,3	1,0	0,1	0,6	0,0									0,0
	D5	7,3	311,4	5,5	18,3	1,0	10,1	0,6									0,3
	D6	0,7	30,8	0,5	1,8	0,1	1,0	0,1									0,0
	D7	11,2	480,3	8,4	28,2	1,5	15,6	1,0									0,5
Geologi	D1	1,0	0,0	0,8	0,0	0,1	0,7	1,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	2,0	0,3	0,0	0,0
	D2	54,8	1,0	45,1	1,5	3,9	37,9	56,9	7,5	12,4	53,3	0,2	2,4	109,6	16,2	0,9	0,1
	D3	1,2	0,0	1,0	0,0	0,1	0,8	1,3	0,2	0,3	1,2	0,0	0,1	2,4	0,4	0,0	0,0
	D4	36,5	0,7	30,0	1,0	2,6	25,3	37,9	5,0	8,2	35,5	0,1	1,6	72,9	10,8	0,6	0,1
	D5	14,0	0,3	11,5	0,4	1,0	9,7	14,5	1,9	3,2	13,6	0,1	0,6	27,9	4,1	0,2	0,0
	D6	1,4	0,0	1,2	0,0	0,1	1,0	1,5	0,2	0,3	1,4	0,0	0,1	2,9	0,4	0,0	0,0
	D7	1,0	0,0	0,8	0,0	0,1	0,7	1,0	0,1	0,2	0,9	0,0	0,0	1,9	0,3	0,0	0,0
	D8	7,3	0,1	6,0	0,2	0,5	5,1	7,6	1,0	1,7	7,1	0,0	0,3	14,6	2,2	0,1	0,0
	D9	4,4	0,1	3,6	0,1	0,3	3,1	4,6	0,6	1,0	4,3	0,0	0,2	8,8	1,3	0,1	0,0
	D10	1,0	0,0	0,8	0,0	0,1	0,7	1,1	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	2,1	0,3	0,0	0,0
	D11	266,5	4,9	219,4	7,3	19,1	184,6	276,9	36,4	60,3	259,3	1,0	11,9	533,0	79,0	4,6	0,6
	D12	22,4	0,4	18,4	0,6	1,6	15,5	23,2	3,1	5,1	21,8	0,1	1,0	44,7	6,6	0,4	0,0
	D13	0,5	0,0	0,4	0,0	0,0	0,3	0,5	0,1	0,1	0,5	0,0	0,0	1,0	0,1	0,0	0,0
	D14	3,4	0,1	2,8	0,1	0,2	2,3	3,5	0,5	0,8	3,3	0,0	0,2	6,7	1,0	0,1	0,0
	D15	57,9	1,1	47,7	1,6	4,2	40,1	60,2	7,9	13,1	56,4	0,2	2,6	115,9	17,2	1,0	0,1
Str. density	D1	1,0	0,2	0,3	0,7	8,2											0,1
	D2	5,4	1,0	1,8	3,9	44,4											0,5
	D3	3,0	0,6	1,0	2,2	25,0											0,3
	D4	1,4	0,3	0,4	1,0	11,2											0,1
	D5	0,1	0,0	0,0	0,1	1,0											0,0
Lereng	D1	1,0	0,6	0,2	0,1	0,4											0,0
	D2	1,6	1,0	0,3	0,1	0,6											0,1
	D3	5,1	3,1	1,0	0,4	1,9											0,2
	D4	12,4	7,6	2,4	1,0	4,7											0,5
	D5	2,7	1,6	0,5	0,2	1,0											0,1
Penggunaan lahan	D1	1,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,8	0,0							0,0
	D2	40,2	1,0	0,3	2,3	1,4	4,0	0,1	33,1	0,4							0,1
	D3	140,8	3,5	1,0	8,1	5,0	14,1	0,4	116,1	1,3							0,2
	D4	17,3	0,4	0,1	1,0	0,6	1,7	0,0	14,3	0,2							0,0
	D5	27,9	0,7	0,2	1,6	1,0	2,8	0,1	23,1	0,3							0,0
	D6	10,0	0,2	0,1	0,6	0,4	1,0	0,0	8,2	0,1							0,0
	D7	389,5	9,7	2,8	22,5	13,9	39,0	1,0	321,3	3,6							0,5
	D8	1,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0							0,0
	D9	108,8	2,7	0,8	6,3	3,9	10,9	0,3	89,8	1,0							0,1