

# Keefektifan "ProKlim" dalam Pengendalian Longsor Secara Vegetatif di Kampung Iklim Desa Sambak, Kajoran, Magelang

*The Effectiveness of "ProKlim" in Controlling Landslide by Vegetative Method in the Sambak Village, Kajoran, Magelang*

**Erny Wibawanti<sup>1</sup>, Junun Sartohadi<sup>2</sup>, Ngadisih Ngadisih<sup>3\*</sup>, Muhammad Anggri Setiawan<sup>4</sup>, Djati Mardiatno<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Geo-Informasi untuk Manajemen Bencana, Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Jl. Teknik Utara, Yogyakarta 55284, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora No. 1, Bulaksumur, Yogyakarta 55281, Indonesia

<sup>3</sup>Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora No. 1, Bulaksumur, Yogyakarta 55281, Indonesia

<sup>4</sup>Departemen Geografi dan Ilmu Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Jl. Kaliurang, Sekip Utara, Bulaksumur, Yogyakarta 55281, Indonesia

\*Penulis korespondensi: Ngadisih Ngadisih, Email: ngadisih@ugm.ac.id

Submisi: 7 Januari 2022; Revisi: 15 Maret 2022; Diterima: 12 April 2022; Dipublikasi: 31 Mei 2023

## ABSTRAK

Partisipasi masyarakat Desa Sambak dalam adaptasi dan mitigasi perubahan iklim telah diapresiasi dalam bentuk penghargaan ProKlim. Desa Sambak terletak pada zona transisi Gunung Api Sumbing dan Pegunungan Menoreh sehingga rawan terhadap bencana erosi, longsor dan kekeringan. Penelitian ini berfokus untuk mengevaluasi efektivitas kegiatan ProKlim dalam pengendalian longsor secara vegetatif. Identifikasi sebaran longsor dilakukan dengan metode interpretasi visual foto udara dilanjutkan pemeriksaan lapangan yang digunakan untuk membangun peta kerawanan longsor menggunakan metode frekuensi rasio. Identifikasi lokasi pengendalian longsor secara vegetatif dilakukan dengan partisipasi masyarakat dan dilanjutkan delineasi foto udara secara visual. Pola spasial distribusi longsor dan mitigasi longsor secara vegetatif ditentukan dengan metode analisis tetangga terdekat. Analisis keefektifan ProKlim ditekankan pada identifikasi letak pengendalian longsor melalui kegiatan penanaman pada wilayah rawan longsor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kegiatan penanaman yang dilakukan belum ditempatkan pada zona rawan longsor sehingga mitigasi longsor kurang efektif. Kesimpulan diperoleh dari 42 kejadian longsor di wilayah kajian didominasi pada: kelerengan 15-25° dan 8-15°; tutupan lahan pertanian lahan kering, semak, dan tanah terbuka; arah hadap lereng tenggara dan timur; profil kurvatur (+) dan (-); jarak dengan jalan 100-200 m dan 200-300 m; dan jarak dengan sungai < 150 m. Dengan nilai AUC (*Area under the ROC Curve*), validasi model kerawanan sebesar 0,66. Pada sebaran penanaman dalam konteks pengendalian longsor secara vegetatif terdapat pada tutupan lahan kebun campuran dan hutan kering sekunder. Pola spasial longsor dan pengendalian longsor secara vegetatif memiliki pola random.

**Kata kunci:** Efektivitas; bencana; longsor; ProKlim; vegetatif

## ABSTRACT

*Engagement of the community at Sambak Village in climate change adaptation and mitigation has been recognized with the ProKlim Award. Sambak is located in the transition zone of the Sumbing Volcano and Menorah Mountains, making it is prone to erosion, landslides, and drought. Therefore, this study focused on assessment the effectiveness of ProKlim activities in the context of landslide mitigation by using vegetative method. The identification of landslides distribution was carried out through a visual interpretation of aerial photographs followed by a field work which was employed to construct a landslide susceptibility map using the frequency ratio method. Landslide control identification was performed by involving community. The spatial pattern was determined by the nearest neighbor analysis method. The effectiveness analysis emphasized identifying landslide control points through tree planting activities in landslide-prone areas. This study showed that tree planting activities was not conducted in areas at risk of landslides. Based on the results, there were 42 landslides on the slopes of 15-25° and 8-15°, dry land agricultural cover, shrubs, and open land, the direction of the slope towards southeast and east, curvature profile (+) and (-), the distance by road 100-200 and 200-300 m, and the distance to the river < 150 m. The AUC value of susceptibility model validation was 0.66, while tree planting distribution in the vegetative landslide control was found in mixed garden land cover and secondary dry forests. The landslides and tree planting distribution had a random spatial pattern.*

**Keywords:** *Effectiveness; disaster; landslide; ProKlim; vegetative*

## PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan peristiwa yang mengancam kehidupan manusia. Untuk mengurangi dampak ancaman yang ditimbulkan, maka diperlukan adaptasi dan mitigasi. Dickie dkk. (2014) mendefinisikan mitigasi perubahan iklim sebagai tindakan dalam mengurangi pengaruh perubahan iklim. Adaptasi dilakukan untuk penyesuaian maupun meminimalkan risiko dan bahaya yang muncul dengan memanfaatkan peluang maupun sumber daya yang tersedia (Eisenhauer, 2020; IPCC, 2007). Penyesuaian diri dan pengurangan pengaruh perubahan iklim yang melibatkan masyarakat telah dilaksanakan melalui Program Kampung Iklim (ProKlim) yang ditujukan untuk penguatan kegiatan pada tingkat tapak. Desa Sambak merupakan salah satu dari 3 (tiga) desa di Kecamatan Kajoran yang mendapatkan penghargaan ProKlim di Tahun 2017.

Salah satu dampak perubahan iklim yang dirasakan saat ini ialah peningkatan kejadian bencana hidrometeorologi. Bencana hidrometeorologi yang menjadi ancaman di Desa Sambak saat ini adalah bencana tanah longsor. Desa Sambak terletak pada zona transisi gunung api muda (Gunung Sumbing) dan gunung api tua (Pegunungan Menoreh), dicirikan dengan material endapan dengan tanah yang tebal berlapis-lapis. Purwaningsih dkk. (2020) menjelaskan bahwa tanah yang tebal dan berada pada lahan dengan kemiringan curam maka berpotensi untuk terjadi longsor. Kondisi iklim daerah zona transisional dikategorikan dalam monsun tropis dengan curah hujan tahunan rata-rata minimal 2.500 mm dan maksimal 4.000 mm (Pulungan & Sartohadi, 2018). Badan

Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Magelang, melaporkan 98 longsor telah terjadi di Kecamatan Kajoran pada periode 2017–2020 dan 9 kejadian diantaranya berada di Desa Sambak.

Penghargaan ProKlim telah diterima Desa Sambak atas kontribusi dan partisipasi aktif masyarakat dalam upaya penyesuaian (adaptasi) dan pengurangan dampak (mitigasi) akibat perubahan iklim. Aktivitas adaptasi dan mitigasi perubahan iklim masyarakat Desa Sambak yang terkait erat dengan pengendalian bencana longsor adalah kegiatan penanaman vegetasi. Penanaman vegetasi di Desa Sambak merupakan aktivitas yang telah dilaksanakan dari tahun ke tahun, bukan kegiatan yang dikerjakan menjelang penghargaan ProKlim diberikan. Batang utama serta bagian-bagiannya dan sistem perakaran vegetasi memiliki fungsi penting dalam mengendalikan longsor (Riyanto, 2016). Keberadaan pepohonan mampu meningkatkan stabilitas lereng (Spiekermann dkk., 2021). Penanaman vegetasi sebagai wujud adaptasi dan mitigasi longsor menjadi populer di seluruh dunia karena kesederhanaan, efektivitas dan efisiensi biaya (Islam dkk., 2020).

Setiap jenis longsor mempunyai faktor pemicu yang berbeda, sehingga membutuhkan strategi pengendalian yang berbeda pula. Tipologi longsor yang umum terjadi di wilayah zona transisi merupakan jenis longsor rotasional dan translasional (Masruroh dkk., 2016). Masyarakat Desa Sambak telah memiliki motivasi yang cukup tinggi dalam kegiatan penanaman vegetasi. Potensi ini menjadi modal penting dan perlu didorong untuk dikombinasikan dengan kegiatan adaptasi dan mitigasi terhadap ancaman bencana longsor. Penanaman vegetasi dalam upaya adaptasi

dan mitigasi perubahan iklim di Desa Sambak perlu dikaji untuk mengetahui efektivitasnya. Analisis efektifitas tersebut membutuhkan data dengan skala detail, sedangkan data yang saat ini tersedia pada skala menengah. Untuk memenuhi kebutuhan ini, diperlukan teknologi penginderaan jauh dalam memperoleh foto udara skala detail sebagai bahan analisis spasial. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui keefektifan kegiatan ProKlim dalam konteks pengendalian longsor secara vegetatif.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Penelitian ini menggunakan peta digital, citra, foto udara, dan dokumen ProKlim. Peta batas administrasi Desa Sambak skala 1 : 20.000 yang diperoleh dari Pemerintah Desa. Selain itu, digunakan citra foto udara hasil akuisisi 30 – 31 Juli 2021 resolusi 0,05 m yang dilakukan saat cuaca cerah, DEM ekstraksi foto udara resolusi 1 m, dokumen laporan verifikasi ProKlim, dan data kejadian longsor dari kegiatan lapangan.

### Alat

Peralatan yang digunakan dalam analisis antara lain Software GIS untuk pengolahan spasial, *Hand Phone* terinstal *Avenza* untuk validasi lapangan, Komputer, Kamera (*Geo Cam*) untuk validasi lapangan, DJI Phantom 4 Pro untuk pengambilan foto udara, GPS Geodetic untuk pengukuran GCP (*Ground Control Point*), Alat Tulis, *Software Agisoft* untuk pengolahan foto udara, dan Nikon *Forestry Pro Laser Rangefinder*.

### Identifikasi Longsor dan Analisis Kerawanan Longsor

Identifikasi sebaran longsor dilakukan dengan interpretasi foto udara (orthophoto) melalui metode digitasi *on screen* berdasarkan kunci interpretasi rona, warna, pola, bentuk, dan asosiasi. Survei lapangan dilakukan untuk memvalidasi data hasil interpretasi foto udara dengan melibatkan masyarakat setempat. Hasil identifikasi sebaran longsor digunakan sebagai bahan analisis kerawanan longsor. Analisis kerawanan longsor digunakan untuk mengetahui hubungan sebaran longsor dengan parameter penyebab. Penelitian ini menggunakan parameter tutupan lahan, kelerengan, profil kurvatur, aspek, jarak jalan, dan jarak sungai.

Kerawanan longsor ditentukan dengan menggunakan metode frekuensi rasio (FR). Frekuensi rasio merupakan perbandingan luas daerah longsor dengan kelas faktor longsor. Ketika nilai rasio yang lebih besar dari 1 maka menunjukkan hubungan yang kuat

kelas faktor dengan kelas kejadian longsor (Wubalem, 2021). Dalam penelitian ini metode yang digunakan FR yang dimodifikasi (Rabby dkk., 2020) seperti tersaji pada Persamaan 1.

$$FR = \frac{Nslpix}{\frac{Ntslpix}{Ncpix}} \quad (1)$$

Keterangan: Nslpix adalah piksel longsor dalam kelas faktor longsor, Ntslpix adalah total piksel tanah longsor di seluruh wilayah studi, Ncpix adalah piksel kelas di wilayah studi, dan Ntcpx adalah total area piksel di seluruh area studi.

Untuk menghitung MFR, dilakukan dengan menormalkan FR menggunakan Persamaan (2).

$$Rf_{ij} = \frac{FR_{ij}}{\sum ER_i} \quad (2)$$

Keterangan:  $Rf_{ij}$  adalah Frekuensi relatif subkelas ke-j faktor i,  $FR_{ij}$  adalah Frekuensi Rasio subkelas ke-j faktor i, dan  $\sum FR_i$  adalah Jumlah frekuensi rasio faktor i.

Setelah dilakukan perhitungan  $Rf$  maka dilanjutkan perhitungan tingkat prediksi (PR) dengan menerapkan Persamaan 3. Model MFR (*Modified Frequency Ratio*) dapat digunakan untuk melihat kontribusi keseluruhan sub kelas (Rabby dkk., 2020).

$$PR_i = \frac{MaxRf_i - MinRf_i}{(MaxRf_i - MinRf_i)min} \quad (3)$$

Keterangan:  $PR_i$  adalah Tingkat prediksi faktor i,  $MaxRf_i$  adalah Frekuensi relatif maksimum faktor i,  $MinRf_i$  adalah Frekuensi relatif minimum faktor i, dan  $(MaxRf_i - MinRf_i)min$  adalah selisih terendah antara frekuensi relatif maksimum dan minimum dari semua faktor.

Nilai  $PR$  yang diperoleh ditetapkan sebagai bobot pada setiap faktor penyebab longsor untuk menghasilkan indeks kerawanan longsor *LSI* (*Landslide Susceptibility Index*). Indeks kerawanan longsor menunjukkan tingkat kerawanan daerah terhadap terjadinya longsor (Rabby dkk., 2020) secara matematis dinyatakan dalam Persamaan 4.

$$LSI = \sum_{i=1}^n Rf_{ij} \times PR_i \quad (4)$$

### Identifikasi Sebaran Penanam Vegetasi Untuk Mitigasi Longsor

Identifikasi kegiatan pengendalian longsor secara vegetatif dilaksanakan dengan wawancara dengan teknik *snowball*. Responden dipilih berdasarkan jaringan

pertemanan antar calon responden yang potensial. Proses pengambilan sampel dimulai dengan memilih responden awal untuk berpartisipasi dalam penelitian. Proses perekrutan anggota sampel ini berlanjut sampai ukuran sampel yang diinginkan tercapai (Salganik dan Heckathorn, 2004). Hasil wawancara dilanjutkan dengan interpretasi klasifikasi visual dengan memperhatikan kunci interpretasi (warna, bentuk, tekstur, pola, dan asosiasi). Pengendalian longsor secara vegetatif direpresentasikan berupa kegiatan penanaman pada tutupan lahan berupa hutan dan kebun campur/*agroforestry*. Deliniasi kegiatan pengendalian longsor secara vegetatif dalam proses klasifikasi visual dilakukan bersamaan dengan identifikasi tutupan lahan melalui klasifikasi visual.

**Analisis Pola Spasial Longsor dan Kegiatan Pengendalian Longsor Secara Vegetatif**

Analisis pola spasial longsor dan kegiatan pengendalian longsor secara vegetatif ditentukan dengan metode analisis tetangga terdekat. Terdapat tiga tipe pola distribusi spasial yaitu mengelompok ( $R < 0,7$ ), tersebar merata ( $0,7 \leq R \leq 1,4$ ), dan tersebar tidak merata ( $R \geq 1,4$ ) (Meiarti dkk., 2018). Perhitungan indeks pola distribusi dapat dituliskan pada Persamaan 5 (Meiarti dkk., 2018).

$$R = \frac{J_u}{J_h} \tag{5}$$

Keterangan: R adalah Indeks tetangga terdekat,  $J_u$  adalah Jarak rerata diukur antara satu titik dengan titik tetangga terdekat, dan  $J_h$  adalah Angka yang diperoleh dari jumlah titik dibagi luas wilayah.

**Penilaian Efektifitas Kegiatan ProKlim dalam Konteks Pengendalian Longsor Secara Vegetatif**

Analisis efektifitas kegiatan ProKlim dalam konteks pengendalian longsor secara vegetatif (tidak spesifik pada jenis vegetasi) ditekankan pada kesesuaian antara letak kegiatan penanaman dengan kerawanan longsor. Analisis ini dilakukan untuk menilai kesesuaian antara lokasi pelaksanaan penanaman dengan lokasi kerawanan longsor. Nilai efektivitas kegiatan ProKlim dilihat berdasarkan nilai frekuensi rasio (FR) dan nilai AUC yang dihasilkan dari tabulasi antara sebaran penanaman dengan kerawanan longsor.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Identifikasi Longsor dan Analisis Kerawanan Longsor**

Sebanyak 42 lokasi longsor teridentifikasi dari interpretasi kenampakan visual obyek pada orthophoto. Pengecekan lokasi longsor untuk validasi

Tabel 1. FR dan PR kelas parameter faktor penyebab longsor

Parameter	Kelas	FR	PR
Slope (Samodra dkk., 2017)	0 – 8°	0,98	
	8 – 15°	1,18	
	15 – 25°	1,03	2,21
	25 – 45°	0,20	
	>45°	-	
Profil kurvatur (Hong Haoyuan dkk., 2016)	<-0,05	1,69	
	-0,05 to 0,05	0,94	1,32
	>0,05	1,65	
	Utara (0 - 22,5)	0,55	
	Timur Laut (22,5 - 67,5)	0,70	
Aspek (Wubalem, 2021)	Timur (67,5 - 112,5)	1,48	
	Tenggara (112,5 - 157,5)	1,54	
	Selatan (157,5 - 202,5)	0,91	1,00
	Barat Daya (202,5 - 247,5)	0,62	
	Barat (247,5 - 292,5)	0,78	
	Barat Laut (292,5 - 337,5)	0,79	
	Utara (337,5 - 360)	0,50	
Jarak dari Sungai (Wubalem, 2021)	0 – 50 m	1,15	
	50 – 100 m	1,46	
	100 – 150 m	1,11	2,28
	150 – 200 m	0,56	
	>200	0,14	
Jarak dari Jalan (Javier dan Kumar, 2019)	0 –100 m	0,81	
	100 – 200 m	1,30	
	200 - 300 m	1,59	1,85
	300 - 400 m	0,84	
	400 – 500 m	0,27	
Penutupan Lahan (Perdirjen Planologi Kehutanan P1/VII-IPSDH/2015 Tentang Pedoman Pemantauan Tutupan Lahan)	>500 m	0,62	
	Pertanian Lahan Kering	3,26	
	Permukiman	0,00	
	Hutan Lahan Kering Sekunder	0,11	
	Kebun Campur	1,06	2,31
	Sawah	1,66	
	Tanah Terbuka	2,16	
Semak Belukar	2,45		

Sumber: Data analisis (2021)

dilakukan dengan metode *purposive sampling* dengan memperhatikan aksesibilitas. Pengecekan di lapangan terhadap 14 lokasi longsor terpilih (30%) dilakukan berdasarkan keterwakilan kunci interpretasi. Dari 14 sampel lokasi longsor yang didatangi, terdapat hasil 1 sampel yang bukan merupakan kategori longsor dan 13 sampel lain terverifikasi sebagai kategori longsor. Pada pengecekan lapangan juga diperoleh tambahan longsor berdasarkan informasi masyarakat sejumlah 1 lokasi.

Analisis kerawanan longsor dalam penelitian ini dilakukan dengan menghilangkan bagian tubuh air di setiap lapisan faktor penyebab tanah longsor mengingat bagian tubuh air tidak terjadi longsor (Ngadisih dkk., 2014) disajikan Gambar 1. Kelas parameter faktor penyebab yang digunakan dalam penelitian ini serta hasil nilai FR dan PR disajikan pada Tabel 1.

Hasil tabulasi data sebaran longsor pada tiap kelas kelerengan diperoleh nilai FR pada kelerengan 15-25° sebesar 1,02 dan pada kelerengan 8-15° sebesar 1,18. Artinya, kejadian longsor memiliki korelasi yang kuat dengan dua kelas kelerengan ini. Wilayah penelitian merupakan wilayah zona transisi vulkanik antara Gunung Api Sumbing dan Pegunungan Menoreh dengan karakteristik tanah tebal dan material lempungan. Tanah tebal merupakan hasil pengendapan abu Gunung Api Sumbing kuartir yang berada di atas lapukan batuan tersier (Noviyanto, 2020). Potensi gerakan massa dapat terjadi pada lereng landai dengan susunan batuan yang mudah rapuh. Ketidakstabilan lereng juga dipengaruhi lapisan tanah klei yang sensitif sehingga berpotensi menimbulkan gerakan tanah (Karnawati, 2005).

Hasil analisis aspek di wilayah kajian menunjukkan bahwa lereng menghadap tenggara dan timur memiliki hubungan yang erat dengan kejadian longsor. Hubungan erat dengan kejadian longsor dapat dilihat dari hasil nilai FR sebesar 1,54 pada arah lereng tenggara dan 1,48 pada arah lereng timur. Arah tenggara dan timur menunjukkan hubungan yang erat dan dimungkinkan faktor radiasi matahari yang mengendalikan proses pelapukan. Arah hadap lereng (aspek) berpengaruh terhadap ketidakstabilan lereng penyebab longsor. Chauhan dkk. (2010); Das dkk. (2010); Naseer dkk. (2021) menjelaskan bahwa arah hadap lereng berpengaruh terhadap kejadian longsor mengingat arah hadap lereng berhubungan erat dengan tingkat paparan sinar matahari. Lereng yang cenderung menghadap ke timur memiliki kejadian longsor yang tinggi karena paparan sinar matahari yang lebih lama (Naseer dkk., 2021).

Pada penelitian ini, kurvatur merupakan nilai dari profil kurvatur. Kelengkungan ini berkaitan erat dengan konsentrasi air yang menjadi penyebab longsor. Kelengkungan profil yang bernilai (+) menunjukkan sel cekung ke atas dan aliran air dipercepat, sedangkan

pada nilai (-) menggambarkan permukaan sel cembung ke atas yang memperlambat aliran air. Pada penelitian ini diperoleh hasil bahwa kelas kurvatur (+) dan (-) menunjukkan hubungan yang erat dengan longsor pada nilai  $FR > 1$ .

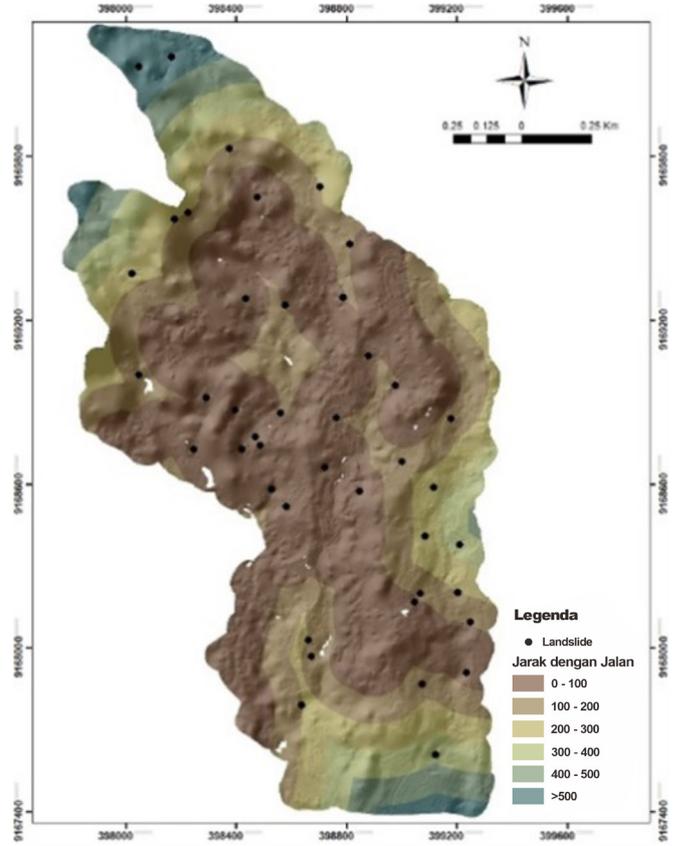
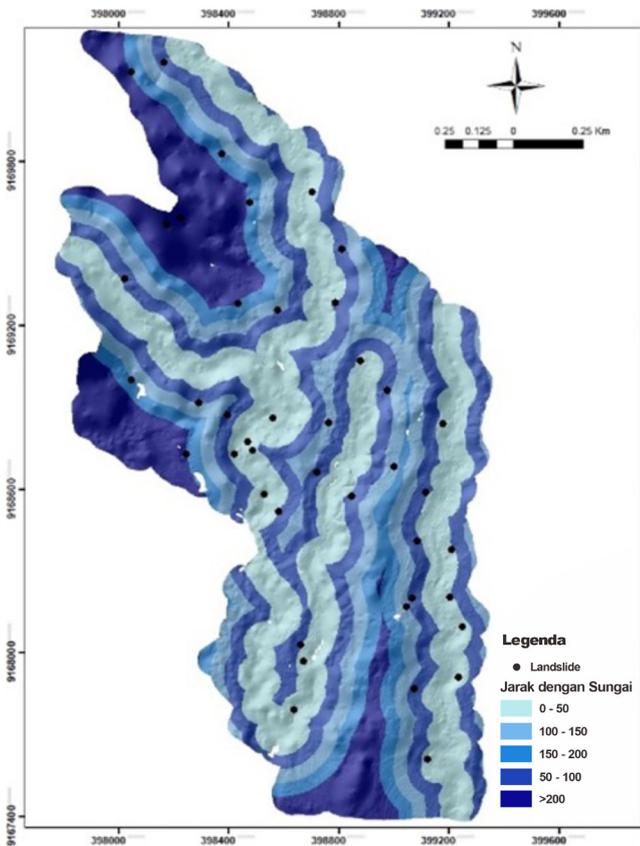
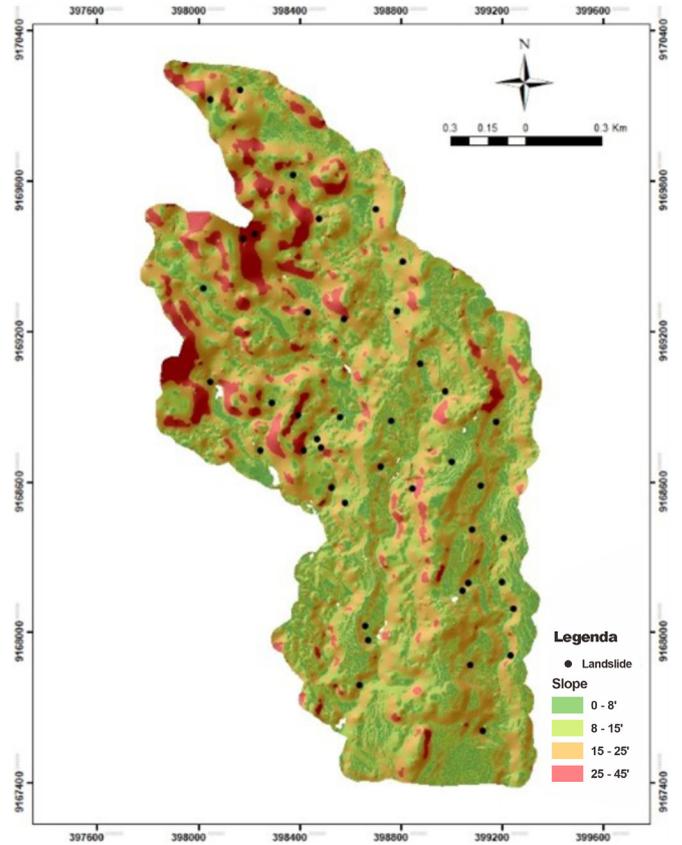
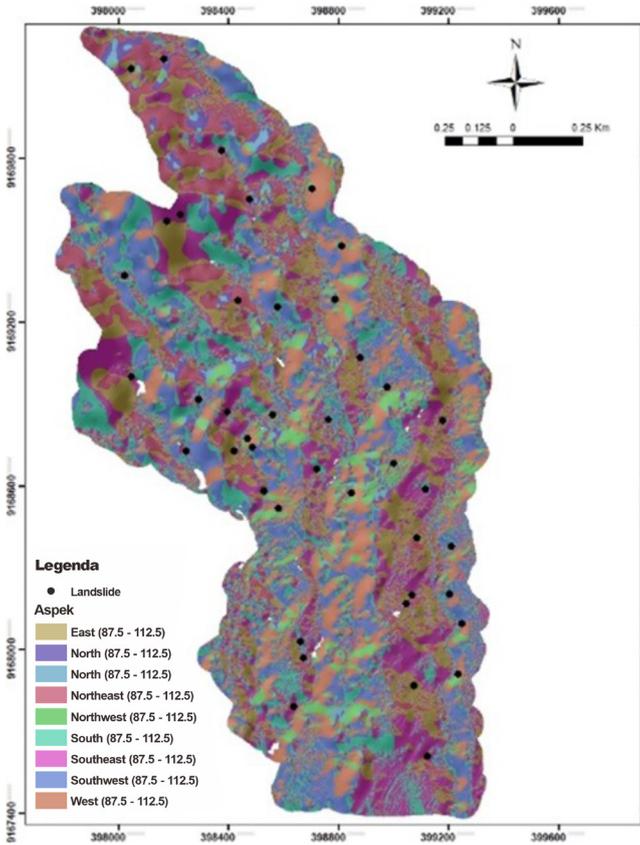
Vegetasi memiliki pengaruh terhadap stabilitasi lereng. Akar tanaman akan memperkuat lereng dan air yang diserap dapat mengurangi kelembaban tanah sehingga memperkuat lereng. Tutupan vegetasi memengaruhi tingkat kejenuhan suatu lereng (Lin dkk., 2021). Daun pada pepohonan akan berperan dalam memotong air hujan serta peran akar dalam meminimalisir kelembaban air dalam tanah (Hardiyatmo, 2012). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelas tutupan lahan pertanian lahan kering, semak belukar dan tanah terbuka memiliki hubungan yang kuat dengan longsor. Pernyataan ini didukung dengan nilai FR berturut-turut sebesar 3,26; 2,45; dan 2,16.

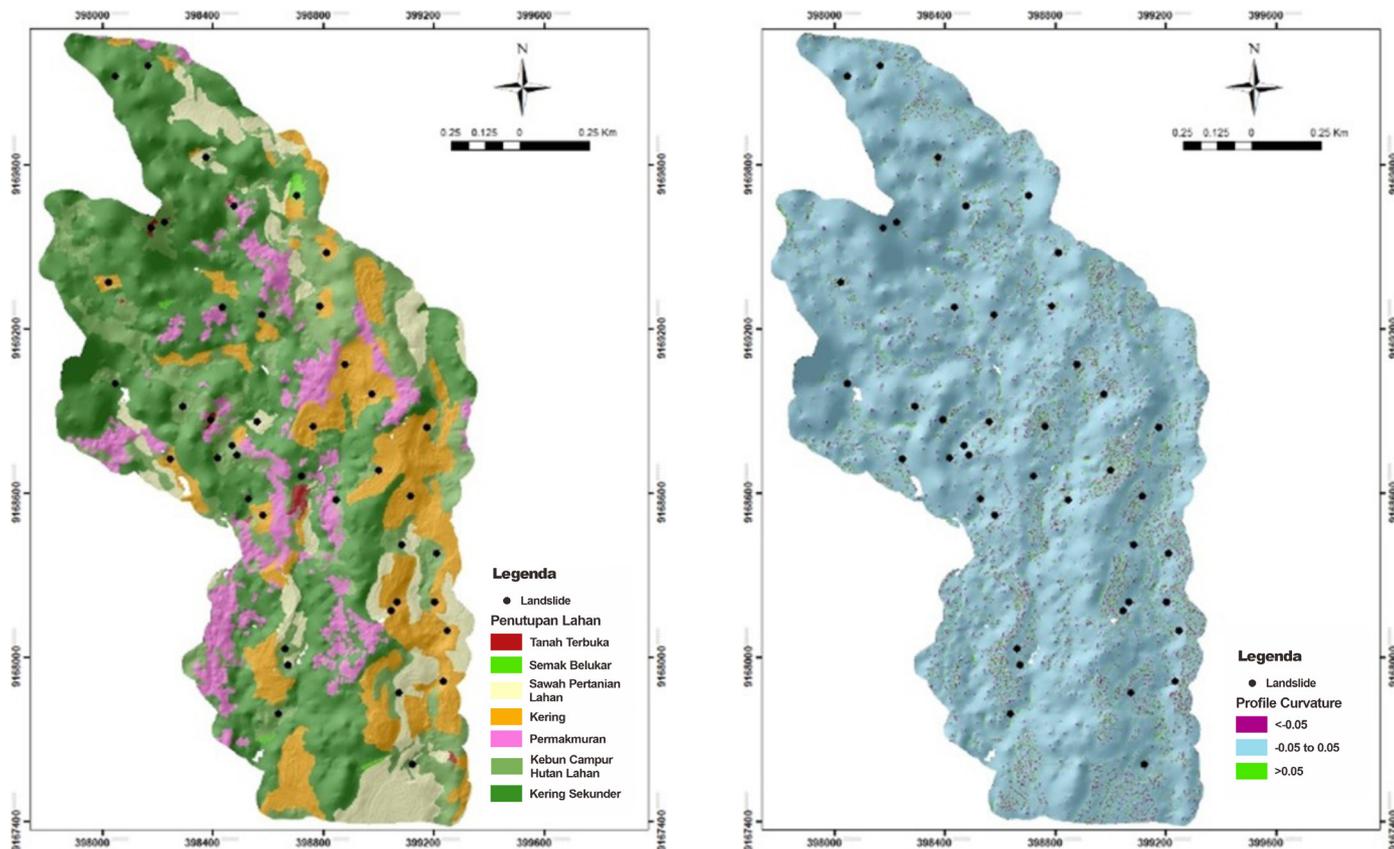
Jarak dengan jalan merupakan salah satu faktor penyebab longsor. Terdapat beberapa jalan pada lokasi penelitian yang dibuat dengan memotong lereng. Jalan yang memotong lereng akan mempengaruhi kestabilan lereng dan berpotensi terjadinya longsor (Masruroh dkk., 2016). Hasil penelitian menunjukkan adanya korelasi kuat antara jarak jalan dengan kejadian longsor pada jarak 100-200 m dan 200-300 m. Pada jarak dengan jalan  $> 300$  m diperoleh nilai  $FR < 1$  yang menunjukkan adanya hubungan yang lemah antara kejadian longsor dengan kelas parameter. Konsentrasi longsor yang menjauhi dari jalan semakin mengalami penurunan.

Berdasarkan nilai FR yang diperoleh, kelas jarak dengan sungai  $< 150$  m terdiri dari tiga kelas jarak yang menunjukkan nilai FR yang berbeda. Jarak sungai 50-100 m didapatkan nilai FR tertinggi sebesar 1,46, jarak sungai 0-50 m didapatkan nilai FR 1,15, dan jarak sungai 100-150 m sebesar 1,11. Aliran sungai dapat mempengaruhi ketidakstabilan dan pengikisan tanah pada kaki lereng. Aliran sungai berpengaruh terhadap proses penjuhan bagian bawah lereng serta mempengaruhi kestabilan pada kaki lereng (Saha dkk., 2002; Cevik dan Topal, 2003; Yalcin, 2008; Ngadisih dkk., 2014).

Perhitungan FR dilanjutkan dengan perhiungan PR. Nilai PR digunakan sebagai bobot setiap faktor penyebab longsor untuk menghasilkan indeks kerawanan longsor. Zonasi kerawanan dibagi menjadi 5 kelas. Persentase luasan setiap kelas kerawanan longsor dapat dilihat pada Tabel 2. Peta kerawanan longsor yang dihasilkan tersaji dalam Gambar 2.

Nilai AUC yang dihasilkan dari model kerawanan longsor yang telah dibangun menggunakan *training set* 70% (29 data longsor) sebesar 71,22% dengan klasifikasi Yesilnacar dan Topal (2005) dan Wubalem





Gambar 1. Sebaran longsor pada faktor penyebab

(2021), dikategorikan kinerja model baik. Nilai AUC yang dihasilkan dari *testing set* 30% (13 data longsor) juga menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda, yaitu sebesar 66,15% dengan klasifikasi kinerja model rata-rata.

### Identifikasi Sebaran Penanam Vegetasi Untuk Mitigasi Longsor

Responden awal dalam identifikasi penanaman vegetasi dengan menggunakan metode *snowball* adalah Kepala Desa Sambak dan berlanjut kepada Sekretaris Desa Sambak. Sekretaris Desa Sambak merupakan Ketua Tim Pokja ProKlim, sehingga memahami lokasi kegiatan penanaman yang diklaim sebagai aktivitas ProKlim Desa Sambak. Informasi tambahan diperoleh dari ketua kelompok tani.

Seluruh kegiatan penanaman vegetasi di Desa Sambak diklaim sebagai bagian dari aktivitas ProKlim karena penanaman dilakukan bercampur dengan tanaman lama sehingga menghasilkan kombinasi tahun tanam yang beragam. Areal ini berupa tutupan lahan hutan lahan kering sekunder dan kebun campur. Tutupan hutan lahan kering sekunder ditunjukkan dengan visualisasi tajuk pohon yang saling berhimpitan dan

menutupi bagian bawah pohon. Tutupan *agroforestry*/ kebun campur ditunjukkan dengan visualisasi berupa tajuk pohon yang bercampur dengan tanaman pertanian, semak atau belukar di antara pepohonan, sehingga komposisi tanaman keras relatif lebih jarang apabila dibandingkan dengan tutupan hutan. Peta sebaran penanaman tersaji dalam Gambar 3.

Komposisi tanaman hutan di Desa Sambak secara umum berupa campuran berbagai jenis tanaman dengan umur yang juga bervariasi. Variasi jenis dan umur tanaman ini menyebabkan adanya stratifikasi

Tabel 2. Klasifikasi kelas kerawanan longsor

No	Kelas kerawanan	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Rendah	62,6169	22
2	Sedang	146,7621	53
3	Tinggi	69,5539	25
Jumlah		278,9329	100

Sumber: Data analisis (2021)

Tabel 3. Sebaran penanaman pada kelas kerawanan longsor

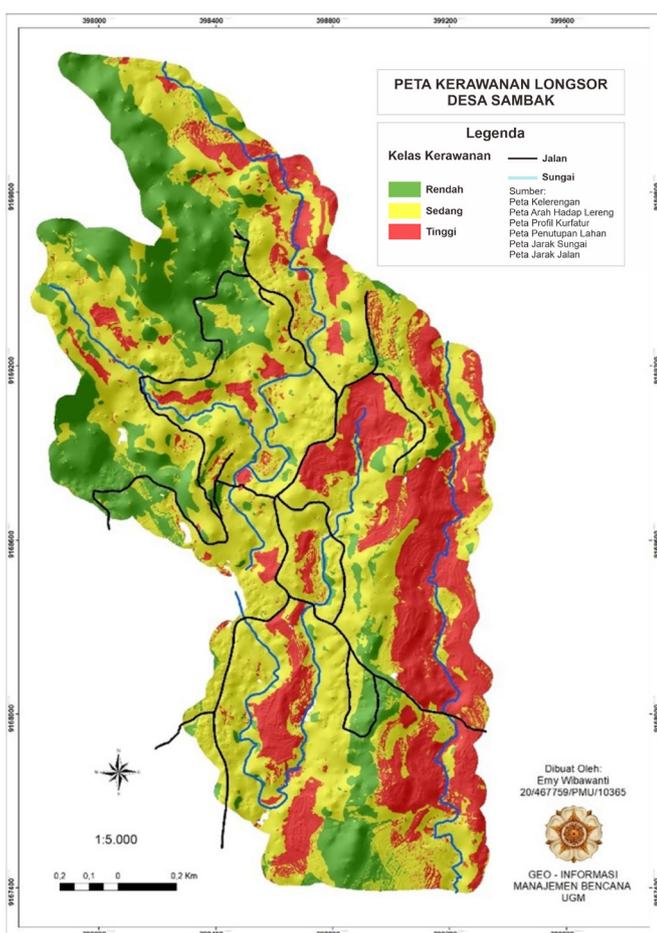
No	Kelas kerawanan	Pixel kelas kerawanan longsor	Pixel penanaman	b	a	FR
1	Rendah	626.169	553.008	22,45	32,19	1,43
2	Sedang	1.467.621	1.059.459	52,62	61,67	1,17
3	Tinggi	695.539	105.601	24,94	6,15	0,25
Jumlah		2.789.329	1.718.068	100,00	100,00	2,85

Keterangan:

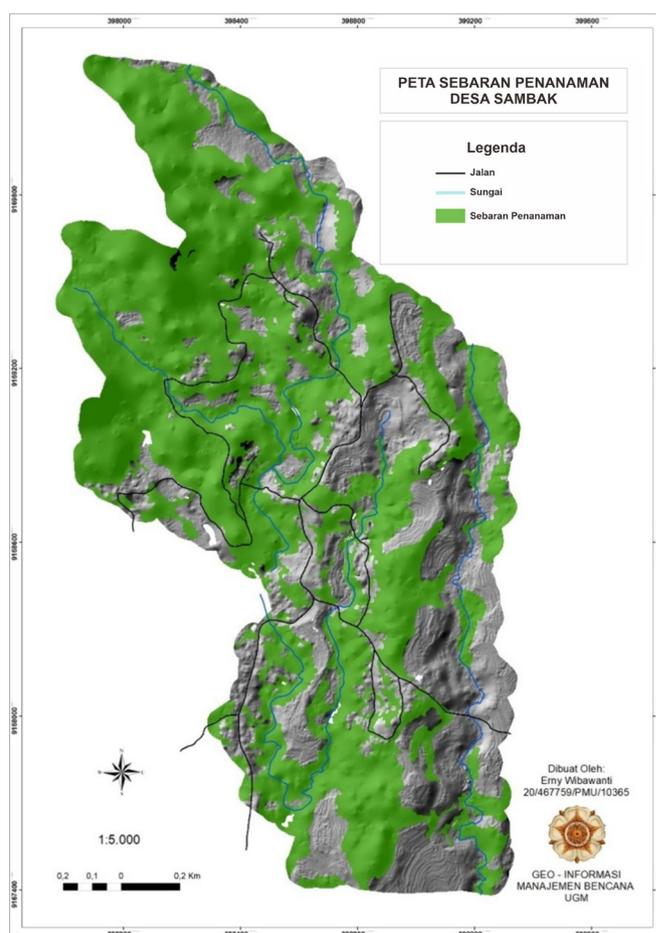
a : Persentase piksel penanaman pada tiap kelas kerawanan terhadap total piksel penanaman.

b : Persentase piksel kelas kerawanan terhadap total area piksel kelas kerawanan

FR : Frekuensi rasio penanaman pada kelas kerawanan



Gambar 2. Peta kerawanan longsor



Gambar 3. Peta sebaran penanaman

tajuk di hutan Desa Sambak. Teknologi pengendalian longsor secara vegetatif diupayakan untuk mengurangi konsentrasi air pada bidang luncur, mengikat massa tanah agar tidak mudah meluncur, serta perembesan air kedalam lapisan yang dalam dari lapisan kedap air dengan penanaman multistrata (BBLSLP, 2019).

Informasi jenis vegetasi diperoleh dari survei lapangan dengan teknik sampling (*purposive sampling*)

pada tutupan kebun campur dan hutan lahan kering sekunder. Jenis pohon yang berhasil diidentifikasi berdasarkan survei lapangan yang telah dilakukan pada hutan lahan kering sekunder antara lain berupa sengon, mahoni, waru, mindi, pulai dan jati. Jenis-jenis tersebut mendominasi stratifikasi tajuk teratas. Pepohonan tersebut dikombinasikan dengan tanaman yang menghasilkan hasil hutan bukan kayu antara lain

cengkeh, petai, nangka, duku, manggis, kakao, durian, sukun, bambu dan kelapa. Selain itu empon-empon, talas, singkong, dan kopi juga menjadi penutup tanah pada stratifikasi tajuk paling bawah.

Komposisi tanaman pada tutupan lahan kebun campur tidak jauh berbeda dengan jenis tanaman dalam tutupan lahan hutan namun dengan tajuk pohon yang tidak saling berhimpitan sehingga tanaman semusim masih terlihat dari interpretasi foto udara. Jenis pohon yang berhasil diidentifikasi berdasarkan survei lapangan yang telah dilakukan antara lain berupa sengon, mahoni, waru, mindi, sonokeling dan jati. Pepohonan tersebut juga dikombinasikan dengan tanaman yang menghasilkan hasil hutan bukan kayu antara lain cengkeh, petai, nangka, duku, manggis, kakao, dan kelapa. Tanaman pangan yang umumnya dibudidayakan diantara tanaman keras berupa singkong, pepaya, pisang, talas, dan kopi.

### **Analisis Pola Spasial Longsor dan Kegiatan Pengendalian Longsor Secara Vegetatif**

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa pola spasial longsor di Desa Sambak dapat dikategorikan sebagai kelas random (acak) dengan nilai  $R$  1,1 ( $0,7 \leq R \leq 1,4$ ). Pola distribusi acak menunjukkan bahwa longsor yang terjadi di wilayah kajian tidak terdapat keterkaitan antara longsor satu dengan longsor lainnya serta longsor yang terjadi tidak dikontrol oleh proses yang sama. Sebaran penanam vegetasi juga berpola acak dengan nilai  $R$  sebesar 1,09. Pola distribusi acak sebaran pengendalian longsor secara vegetatif tersebut menunjukkan bahwa kegiatan penanaman vegetasi di suatu lokasi tidak memiliki keterkaitan dengan penanam pada lokasi lainnya. Penanaman dilakukan atas kepentingan individu masyarakat untuk tujuan ekonomi maupun lingkungan.

### **Keefektifan Kegiatan ProKlim Dalam Pengendalian Longsor Secara Vegetatif**

Penilaian efektivitas dilakukan untuk melihat kesesuaian antara letak penanaman vegetasi dengan kelas kerawanan longsor. Frekuensi rasio kegiatan penanaman pada wilayah kelas rawan rendah sebesar 1,43, kelas rawan sedang sebesar 1,17 dan kelas rawan tinggi 0,25 (Tabel 3). Nilai frekuensi rasio penanaman pada kelas rawan tinggi menunjukkan nilai  $FR < 1$  yang berarti bahwa aktivitas penanaman yang dilakukan pada kelas rawan tinggi relatif sedikit. Nilai frekuensi rasio kegiatan penanaman pada lokasi rawan sedang sebesar 1,17 dan rawan rendah sebesar 1,43. Hasil nilai  $FR > 1$  tersebut menunjukkan bahwa kegiatan penanaman vegetasi pada kelas rawan rendah dan rawan sedang memiliki cakupan yang luas. Perhitungan AUC dari analisis data yang dilakukan diperoleh nilai sebesar 0,44. Nilai AUC tersebut menunjukkan bahwa model kerawanan longsor

yang dibangun tidak sesuai dengan data yang diamati, sehingga dapat disimpulkan bahwa kegiatan penanaman vegetasi belum ditempatkan pada lokasi rawan longsor.

### **KESIMPULAN**

Keefektifan ProKlim dalam pengendalian longsor secara vegetatif membuktikan bahwa kegiatan penanaman pohon (metode vegetasi) tidak pada zona rawan longsor (kurang efektif). Kesimpulan diperoleh berdasarkan 42 lokasi longsor yang didominasi terjadi pada lokasi dengan kelas kelerengan  $8-15^\circ$  dan  $15-25^\circ$ ; arah hadap lereng tenggara dan timur; tutupan lahan pertanian, semak belukar, dan tanah terbuka; profile kurvatur (+) dan (-); jarak dengan sungai  $< 150$  m; dan jarak dengan jalan 100-200 m dan 200-300 m. Dengan sebaran longsor dan sebaran kegiatan pengendalian longsor secara vegetatif (penanaman) memiliki pola spasial random. Pada sebaran penanaman dalam konteks pengendalian longsor secara vegetatif terdapat pada tutupan lahan kebun campur dan hutan kering sekunder.

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusbindiklatren Bappenas yang telah membiayai proses belajar jenjang Strata-2.

### **KONFLIK KEPENTINGAN**

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dengan pihak lain.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- [BPBD] Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Magelang. (2021). Tabel Kejadian Bencana Kabupaten Magelang. Retrieved April 18, 2021, from <http://sikk.bpbdmagelang.id/TabelKejadian>.
- [BBLSLP] Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. (2019). Petunjuk Teknis Teknologi Pengendalian Longsor. Kementerian Pertanian
- Cevik, E. & Topal, T. (2003). GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology*, 44, 949–962.
- Chauhan, S., Sharma, M., Arora, M. K., Gupta, N. K. (2010). Landslide susceptibility zonation through ratings derived from artificial neural network. *Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, 340–350.

- Dickie, A., Streck, C., Roe, S., Zurek, M., Haupt, F., & Dolginow, A. (2014). Strategies for mitigating climate change in agriculture: Abridged report. Climate focus and california environmental associates, prifadred with the support of the climate and land use Alliance. Report and supplementary materials available at: [www.agriculturalmitigation.org](http://www.agriculturalmitigation.org)
- Das I., Sahoo, S., van Westen, C., Stein, A., & Hack, R. (2010). Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along a road section in the northern Himalayas (India). *Geomorphology*. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.09.023>
- Eisenhauer, D. C. (2020). Climate Change; Adaptation. *International Encyclopedia of Human Geography*, 2<sup>nd</sup> edition Volume 2.
- Hardiyatmo, H. C. (2012). *Tanah Longsor dan Erosi*. Yogyakarta (ID): Gadjah Mada University Press.
- Hong, H., Chen, W., Xu, C., Youssef, A. M., Pradhan, B., & Bui, T. D. (2021). Rainfall-induced landslide susceptibility assessment at the Chongren area (China) using frequency ratio, certainty factor, and index of entropy. *Geocarto International*. <http://doi.org/10.1080/10106049.2015.1130086>
- Islam, Md. A., Islam, M. S., & Elahi, T. (2020). Effectiveness of vetiver grass on stabilizing hill slopes: A numerical approach. *Geo-Congress 2020*.
- IPCC. (2007). Climate change 2007: The physical science basis: Summary for policymakers. *Contribution of the Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Javier & Kumar L. (2019). Frequency Ratio Landslide Susceptibility Estimation in A Tropical Mountain Region. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-3/W8, 173–179. <http://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W8-173-2019>
- Karnawati, D. (2005). Bencana alam gerakan massa tanah di Indonesia dan upaya penanggulangannya. Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- [KLHK] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2015). Peraturan Direktur Jenderal Planologi Kehutanan Nomor P.1/VII-IPSDH/2015 Tentang Pedoman Pemantauan Penutup Lahan.
- Lin, W., Yin, K., Wang, N., Xu, Y., Guo, Z., & Li, Y. (2021). Landslide hazard assessment of rainfall-induced landslide based on the CF-SINMAP model: a case study from Wuling Mountain in Hunan Province, China. *Natural Hazards*. <http://doi.org/10.1007/s11069-020-04483-x>
- Masruroh, H., Sartohadi, J., & Setiawan, A. (2016). Membangun metode identifikasi longsor berbasis foto udara format kecil di DAS Bompon, Magelang, Jawa Tengah. *Majalah Geografi Indonesia*, 30(2), 169–182.
- Meiarti, R., Sartohadi, J., Pulungan, Ainun, N. & Setiawan, A. (2018). Analisis pola spasial distribusi longsor untuk penentuan faktor pengontrol utama longsor lahan di DAS Kodil Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Geografi, Edukasi, dan Lingkungan (JGEL)*, 2(1).
- Naseer, S., Ul-Haq, T., Khan, A., Tanoli, J. I., Khan, N. G., Qaiser, F. R., & Shah, S. T. H. (2021). GIS based spatial landslide distribution analysis of district Neelum, AJ&K, Pakistan. *Natural Hazards* 2021, 106, 965–989. <http://doi.org/10.1007/s11069-021-04502-5>
- Ngadisih, N., Yatabe, R., Bhandary, N. P., & Dahal, R. K. (2014). Integration of statistical and heuristic approaches for landslide risk analysis: A case of volcanic mountains in West Java Province, Indonesia. *Georisk*, 29-47. <http://doi.org/10.1080/17499518.2013.826030>
- Noviyanto, A. (2020). *Karakteristik Morfologi Tanah dan Lapisan Klei Sensitif pada Tiga Longsor Aktif di Sisi Selatan Gunungapi Sumbing Jawa Tengah*. Tesis, Yogyakarta: Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada.
- Pulungan, N. A. & Sartohadi, J. (2018). *New Approach to Soil Formation in the Transitional Landscape Zone: Weathering and Alteration of Parent Rocks*. *Journal of Environments*, 5(1), 1–7. <http://doi.org/10.20448/journal.505.2018.51.1.7>
- Purwaningsih, R., Sartohadi, J., & Setiawan, A. (2020). Trees and crops arrangement in the agroforestry system based on slope units to control landslide reactivation on volcanic foot slopes in Java, Indonesia. *Land* 2020, 9, 327. <http://doi.org/10.3390/land9090327>
- Rabby, Y. W., Ishtiaque, A., & Rahman. Md. S. (2020). Evaluating the effects of digital elevation models in landslide susceptibility mapping in Rangamati District, Bangladesh. *Journal Remote Sensing*, 2020, 12, 2718. <http://doi.org/10.3390/rs12172718>
- Riyanto, H. D. (2016). *Rekayasa Vegetatif untuk Mengurangi Risiko Longsor*. Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Surakarta.
- Saha, A. K., Gupta, R. P., & Arora, M. K. (2002). GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas. *Journal of Remote Sensing*, 23(2), 357–369.
- Salganik, M. J. & Heckathorn, D. D. (2004). Sampling and estimation in hidden populations using respondent-driven sampling. *Sociological Methodology*, 34(1), 193–240. <http://doi.org/10.1111/j.0081-1750.2004.00152.x>
- Samodra, G., Chen, G., Sartohadi, J., & Kasama, K. (2017). Comparing data-driven landslide susceptibility models

based on participatory landslide inventory mapping in Purwosari area, Yogyakarta, Java. *Environmental Earth Sciences*, 76(4).

Spiekermann, R. I., McColl, S, Fuller, I., Dymond, J., Burkitt, L., & Smith, H. G. (2021). Quantifying the influence of individual trees on slope stability at landscape scale. *Journal of Environmental Management*, 286, 112–194.

Wubalem, A. (2021). Landslide susceptibility mapping using statistical methods in Uatzau catchment area,

northwestern Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters*, 2021, 8(1). <http://doi.org/10.1186/s40677-020-00170-y>

Yalcin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparison of results and confirmations. *Catena*, 72, 1–12.