Jurnal BETA (Biosistem dan Teknik Pertanian). 2026. 14(2): 300-319
https://ejournal3.unud.ac.id/index.php/beta
doi: 10.24843/jbeta.2026.v14.i02.p08

Pemetaan Risiko Longsor Berbasis *Slope*, *Aspect*, dan *Curvature* pada Agroindustri Tahu (Studi Kasus di Desa Sambak, Magelang)

Risk Mapping of Landslides Based on Slope, Aspect, and Curvature in the Tofu Agroindustry (Case Study in Sambak Village, Magelang)

Anak Agung Caresasha Adinda Dea[1], Ni Nyoman Sulastri[1*], Ngadisih [2], Ida Bagus Ary Purnayama Parbawa[1], Komang Ratih Indah Pradnyani [1]

[1] *Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia*
[2] *Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia*

ABSTRAK

Tanah longsor merupakan salah satu bencana geologi yang berpotensi menimbulkan dampak signifikan terhadap keberlanjutan kegiatan sosial dan ekonomi masyarakat, khususnya pada wilayah perbukitan. Desa Sambak, Kecamatan Kajoran, Kabupaten Magelang, merupakan kawasan dengan kondisi topografi curam yang berkembang sebagai sentra agroindustri tahu, sehingga memiliki tingkat risiko longsor yang perlu dikaji secara sistematis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan memetakan risiko longsor sebagai dasar perencanaan mitigasi yang berkelanjutan. Analisis dilakukan menggunakan data *digital surface model* (DSM) resolusi 0,45 m untuk menghasilkan parameter *slope*, *aspect*, dan *curvature profile*, serta dikombinasikan dengan variabel jarak terhadap sungai dan jalan menggunakan metode *frequency ratio* (FR) yang diadopsi berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan pada daerah yang sama. Kerentanan dan kapasitas dianalisis untuk menyusun peta risiko berbasis pendekatan spasial menggunakan QGIS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari 14 unit agroindustri tahu yang dianalisis, sebanyak 2 unit (14,29%) berada pada kelas risiko tinggi, 8 unit (57,14%) pada kelas risiko sedang, dan 4 unit (28,57%) pada kelas risiko rendah. Lokasi dengan risiko tinggi dicirikan oleh kombinasi bahaya longsor tinggi, kerentanan ekonomi besar, dan kapasitas mitigasi yang rendah. Analisis parameter menunjukkan bahwa *curvature profile* dan jarak terhadap sungai merupakan faktor paling dominan dengan konsistensi 100% pada lokasi berisiko tinggi, sedangkan *slope* dan *aspect* berperan sebagai faktor pendukung. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi parameter topografi dan faktor sosial-ekonomi mampu mengidentifikasi distribusi risiko longsor secara komprehensif. Peta risiko yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar awal dalam perencanaan mitigasi berbasis lokasi untuk mendukung keberlanjutan agroindustri tahu di Desa Sambak.

Kata Kunci: agroindustri tahu, analisis risiko, *frequency ratio*, longsor, QGIS.

ABSTRACT

Landslides are a type of geological hazard that can have a significant impact on the sustainability of social and economic activities, particularly in hilly areas. Sambak Village, Kajoran Subdistrict, Magelang Regency, is an area with steep topography that has developed into a center for the tofu agroindustry; consequently, it faces a level of landslide risk that requires systematic assessment. This study aims to analyze and map landslide risk as a basis for sustainable mitigation planning. The analysis was conducted using a 0.45-meter-resolution digital surface model (DSM) to generate slope, aspect, and curvature profile parameters, which were then combined with variables representing distance to rivers and roads using the frequency ratio (FR) method, adopted from previous research conducted in the same area. Vulnerability and capacity were analyzed to create a risk map using a spatial approach in QGIS. The results indicate that of the 14-tofu agro-industrial units analysed, 2 units (14.29%) fall into the high-risk category, 8 units (57.14%) into the moderate-risk category, and 4 units (28.57%) into the low-risk category. High-risk locations are characterized by a combination of high landslide hazard, high economic vulnerability, and low mitigation capacity. Parameter analysis indicates that curvature profile and distance to

Corresponding author: Ni Nyoman Sulastri
Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia. **Email:** sulastri@unud.ac.id

Masuk: 30 Desember 2025; **Direvisi:** 6 Maret 2026; **Diterima:** 18 Mei 2026; **Terbit:** 30 September 2026

rivers are the most dominant factors with 100% consistency in high-risk locations, while slope and aspect act as supporting factors. These findings indicate that the integration of topographic parameters and socio-economic factors can comprehensively identify the distribution of landslide risk. The resulting risk map can serve as a foundational basis for location-based mitigation planning to support the sustainability of the tofu agroindustry in Sambak Village.

Keywords: *frequency ratio, landslide, risk analysis, tofu agro-industry, QGIS.*

PENDAHULUAN

Tanah longsor merupakan salah satu bencana geologi yang sering terjadi di wilayah berlereng curam dan perbukitan, serta berpotensi menimbulkan dampak serius terhadap keselamatan manusia, infrastruktur, dan keberlanjutan kegiatan ekonomi (BNPB, 2023). Di Indonesia, kejadian longsor kerap dipicu oleh kombinasi kondisi topografi yang terjal, karakteristik morfologi lereng, serta aktivitas manusia yang memengaruhi kestabilan tanah. Oleh karena itu, analisis risiko longsor menjadi aspek penting dalam perencanaan wilayah dan pengelolaan sumber daya, khususnya pada kawasan yang memiliki aktivitas produktif berbasis lahan.

Desa Sambak, Kecamatan Kajoran, Kabupaten Magelang, merupakan salah satu wilayah dengan kondisi topografi perbukitan yang berkembang sebagai sentra agroindustri tahu. Keberadaan agroindustri ini berperan penting dalam menopang perekonomian masyarakat setempat dan menyediakan lapangan pekerjaan secara berkelanjutan. Namun demikian, lokasi sebagian unit agroindustri yang berada pada area berlereng serta kedekatannya dengan jaringan sungai dan jalan meningkatkan potensi paparan terhadap bahaya longsor (Wibawanti et al., 2023). Kondisi tersebut menunjukkan adanya kebutuhan untuk melakukan kajian risiko longsor yang bersifat nyata, terukur, dan relevan secara teknis guna mendukung keberlanjutan usaha agroindustri tahu di wilayah tersebut.

Secara ilmiah, risiko longsor merupakan hasil interaksi antara kerawanan, bahaya (*hazard*), kerentanan (*vulnerability*), dan kapasitas (*capacity*) (BNPB, 2024; UNDRR, 2004). Kajian risiko yang komprehensif memerlukan pendekatan spasial yang mampu merepresentasikan karakteristik fisik wilayah, khususnya parameter topografi seperti kemiringan lereng (*slope*), arah hadap lereng (*aspect*), dan kelengkungan lereng (*curvature*). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa parameter-parameter tersebut memiliki pengaruh signifikan terhadap kestabilan lereng dan distribusi kejadian longsor. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk menganalisis hubungan antara parameter fisik dan kejadian longsor adalah metode *frequency ratio* (FR), yang bersifat kuantitatif dan relatif mudah diterapkan pada data spasial berbasis sistem informasi geografis (SIG) (Nugroho & Nugroho, 2020).

Namun demikian, sebagian penelitian masih berfokus pada aspek fisik tanpa mengaitkannya secara spesifik dengan aktivitas ekonomi lokal yang berpotensi terdampak (Erzagian et al., 2023; Silalahi et al., 2019). Dalam konteks Desa Sambak, agroindustri tahu sebagai bagian dari sektor UMKM merupakan potensi utama yang menopang perekonomian masyarakat, sehingga memiliki tingkat kerentanan ekonomi yang tinggi terhadap bencana longsor. Penelitian ini berfokus pada integrasi analisis parameter topografi dengan komponen kerentanan dan kapasitas pada tingkat unit agroindustri tahu, sehingga menghasilkan peta risiko yang lebih kontekstual dan aplikatif pada skala desa.

Kajian risiko longsor yang mengintegrasikan parameter kerawanan, bahaya, kerentanan, dan kapasitas secara spesifik pada kawasan agroindustri berskala desa masih relatif terbatas (Rakuasa et al., 2023). Padahal, informasi risiko yang bersifat lokal dan aplikatif sangat diperlukan sebagai dasar perencanaan mitigasi yang berkelanjutan, terutama untuk menjaga kesinambungan kegiatan produksi dan mengurangi potensi kerugian ekonomi akibat bencana. Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu analisis risiko longsor yang tidak hanya memetakan tingkat kerawanan dan bahaya,

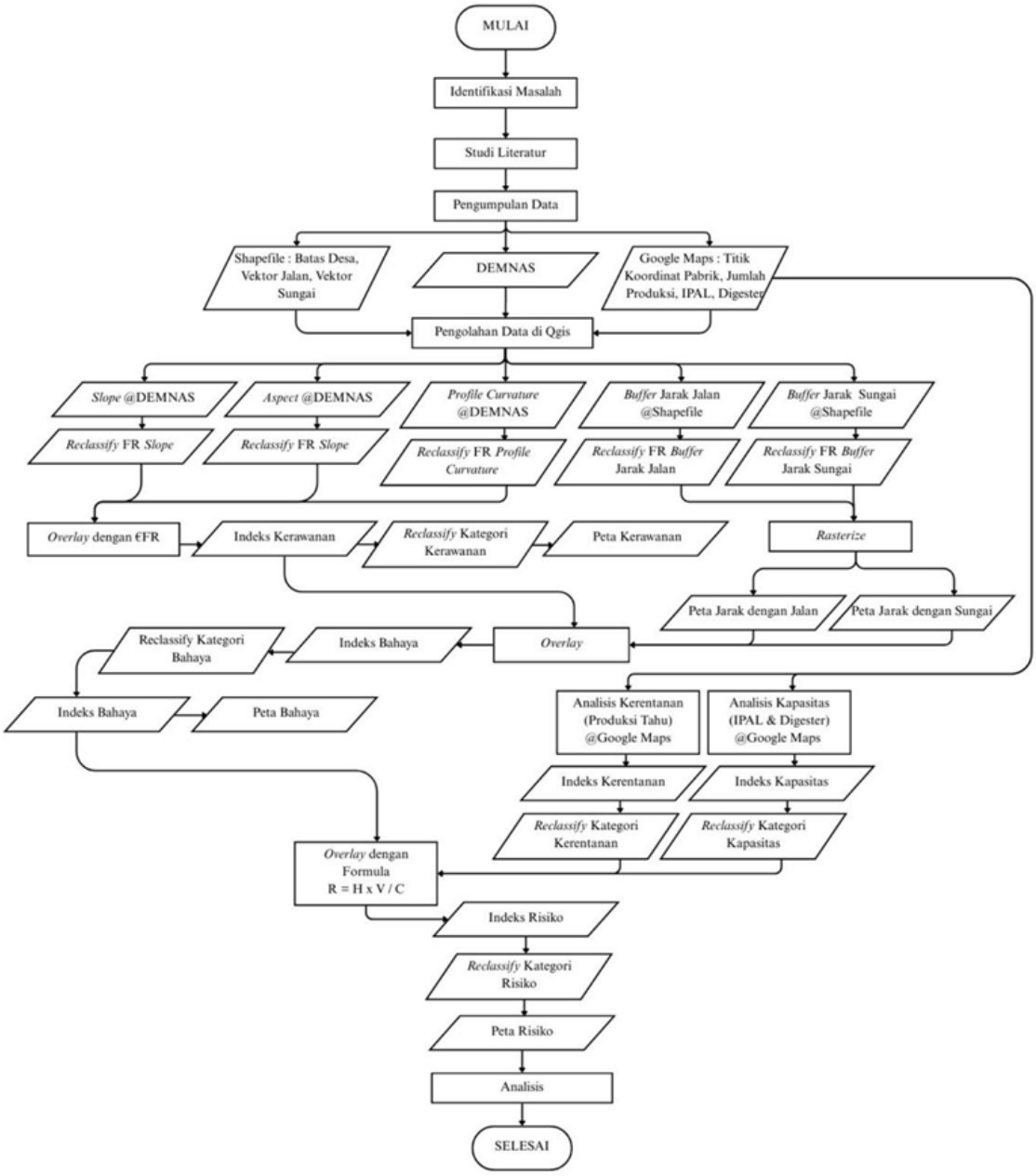
tetapi juga mempertimbangkan aspek kerentanan dan kapasitas pada lokasi agroindustri tahu di Desa Sambak.

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana tingkat risiko longsor di kawasan agroindustri tahu Desa Sambak berdasarkan parameter topografi dan faktor pendukung lainnya, serta bagaimana distribusi kelas risiko pada setiap lokasi agroindustri. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan memetakan risiko longsor menggunakan pendekatan SIG dan metode *frequency ratio* sebagai dasar penyusunan rekomendasi mitigasi yang berorientasi pada keberlanjutan agroindustri tahu di Desa Sambak, Kecamatan Kajoran, Kabupaten Magelang.

METODE

Diagram Alir

Penelitian ini dimulai dari mengumpulkan data yaitu DEMNAS, *Shapefile* Desa Sambak, jalan, sungai, titik koordinat agroindustri tahu, data produksi tahu, Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), *digester* dapat dilihat diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Analisis *Frequency Ratio* (FR) dan Reklasifikasi Parameter

Metode FR merupakan metode statistik bivariat yang umum digunakan dalam pemetaan kerawanan longsor untuk mengukur hubungan antara kejadian longsor dan kelas-kelas parameter penyusunnya. Prinsip dasar metode ini adalah membandingkan rasio frekuensi kejadian longsor pada suatu kelas parameter terhadap luas kelas tersebut dengan rasio kejadian longsor pada seluruh wilayah kajian. Nilai FR yang lebih besar dari satu menunjukkan bahwa kelas parameter tersebut memiliki kontribusi yang lebih besar terhadap terjadinya longsor (Nugroho & Nugroho, 2020).

Dalam penelitian ini, nilai FR tidak dihitung langsung dari data kejadian longsor, melainkan diadopsi dari penelitian terdahulu yang dilakukan pada lokasi yang sama, yaitu Desa Sambak (Wibawanti et al., 2023). Penelitian tersebut telah menggunakan data kejadian longsor riil di lapangan, sehingga nilai FR yang dihasilkan dinilai representatif dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Meskipun objek kajian berbeda, kesamaan lokasi penelitian menjadikan keterkaitan antara parameter fisik lereng yang meliputi kemiringan (*slope*), arah hadap lereng (*aspect*), kelengkungan lereng (*curvature*), serta jarak terhadap sungai dan jalan, dengan potensi longsor tetap relevan untuk digunakan kembali sebagai dasar analisis risiko (Wang et al., 2022).

Nilai FR yang diadopsi dari literatur kemudian digunakan sebagai bobot dalam proses reklasifikasi parameter. Setiap peta parameter (*slope*, *aspect*, *curvature*, jarak sungai, dan jarak jalan) direklasifikasi menggunakan fungsi *raster calculator* pada QGIS dengan menggantikan setiap kelas parameter menjadi nilai FR yang bersesuaian. Dengan proses ini, setiap piksel raster merepresentasikan tingkat kontribusi kelas parameter terhadap kejadian longsor. Nilai FR untuk masing-masing kelas parameter disajikan pada Tabel 1, yang menunjukkan bahwa beberapa kelas memiliki hubungan kuat dengan kejadian longsor.

Tabel 1. Nilai *frequency ratio* (FR) untuk setiap parameter penyusun bahaya longsor (Wibawanti et al., 2023)

Parameter	Kelas / Interval	FR
***Slope* (°)**	0–8	0,98
	8–15	1,18
	15–25	1,03
	25–45	0,20
	>45	0,00
***Aspect* (°)**	0–22,5 (Utara)	0,55
	22,5–67,5 (Timur Laut)	0,70
	67,5–112,5 (Timur)	1,48
	112,5–157,5 (Tenggara)	1,54
	157,5–202,5 (Selatan)	0,91
	202,5–247,5 (Barat Daya)	0,62
	247,5–292,5 (Barat)	0,78
	292,5–337,5 (Barat Laut)	0,79
	337,5–360 (Utara)	0,50
Curvature Profile	< −0,05 (Cembung)	1,69
	−0,05 – 0,05 (Datar/Transisi)	0,94
	> 0,05 (Cekung)	1,65
Jarak Sungai (m)	0–100	1,44
	100–200	1,11
	200–300	0,66
	300–400	0,41
	400–500	0,44
	>500	0,23

	0–50	1,76
	50–100	1,31
Jarak Jalan (m)	100–150	0,82
	150–200	0,56
	>200	0,44

Lereng dengan kemiringan 8–15° dan 15–25° memiliki nilai FR > 1, yang mengindikasikan tingginya frekuensi longsor pada lereng dengan kemiringan sedang. Parameter *aspect* menunjukkan bahwa lereng yang menghadap ke timur dan tenggara memiliki nilai FR tertinggi, yang mengindikasikan pengaruh orientasi lereng terhadap intensitas pelapukan dan kelembapan tanah akibat paparan sinar matahari (Naseer et al., 2021). Pada parameter *curvature profile*, baik lereng cekung maupun cembung memiliki nilai FR > 1, yang menunjukkan peran bentuk lereng dalam akumulasi dan aliran air permukaan yang memengaruhi kestabilan lereng. Selain itu, parameter jarak terhadap jalan dan sungai juga menunjukkan hubungan yang signifikan dengan kejadian longsor. Jarak yang relatif dekat terhadap jalan dan sungai memiliki nilai FR lebih tinggi, yang mengindikasikan pengaruh aktivitas pemotongan lereng oleh jalan serta erosi kaki lereng oleh aliran sungai terhadap peningkatan potensi longsor (Saha et al., 2002; Wibawanti et al., 2023).

Pembuatan Parameter Morfometri

Dari data DSM dihasilkan tiga parameter morfometri yang berpengaruh terhadap kejadian longsor, yaitu *slope*, *aspect*, dan *curvature profile*. Parameter tersebut dihitung dengan modul *Terrain Analysis* pada QGIS.

Penyusunan Peta Kerawanan Longsor

Peta kerawanan diperoleh melalui proses *spatial overlay* menggunakan QGIS, dengan cara menjumlahkan nilai FR dari seluruh parameter pada setiap piksel raster. Dengan demikian, setiap piksel memiliki nilai indeks yang merepresentasikan tingkat kontribusi gabungan dari ketiga parameter topografi terhadap potensi kejadian longsor.

Penjumlahan nilai FR ini menghasilkan *Landslide Susceptibility Index* (LSI), yang menggambarkan tingkat kerawanan relatif terhadap longsor. Semakin besar nilai LSI, semakin tinggi tingkat kerawanan longsor pada lokasi tersebut. Pendekatan ini sejalan dengan konsep metode *Frequency Ratio*, di mana integrasi beberapa parameter pengontrol dilakukan melalui penjumlahan nilai FR untuk membentuk indeks kerawanan (Pradhan, 2010; Sheng et al., 2022). Secara matematis, nilai LSI dihitung menggunakan Persamaan (1):

$$LSI = FR_1 + FR_2 + \cdots + FR_n \qquad [1]$$

Untuk mempermudah interpretasi hasil, nilai LSI kemudian direklasifikasi menjadi tiga kelas kerawanan, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Proses klasifikasi dilakukan menggunakan metode *equal interval*, dengan membagi rentang nilai minimum dan maksimum LSI menjadi tiga kelas yang sama besar. Berdasarkan hasil *overlay*, rentang nilai LSI berada pada kisaran 1,44 hingga 4,20, sehingga pembagian kelas kerawanan ditetapkan sebagaimana disajikan pada Tabel 2, yang menunjukkan batas nilai LSI untuk masing-masing kategori kerawanan longsor di kawasan agroindustri tahu Desa Sambak.

Tabel 2. Kelas Kerawanan Longsor di Agroindustri Tahu Desa Sambak, Magelang

Kelas Kerawanan	Rentang Nilai LSI	Kategori
1	1,44 – 2,43	Rendah
2	2,43 – 3,42	Sedang
3	≥ 3,42	Tinggi

Pembuatan Peta Bahaya Longsor (Variabel Jarak Jalan dan Sungai)
Selain parameter topografi, variabel jarak terhadap jalan dan jarak terhadap sungai dimasukkan dalam analisis bahaya longsor karena aktivitas pembangunan jalan dan proses erosi sungai berpengaruh terhadap kestabilan lereng. Kedua variabel tersebut diturunkan melalui proses *buffering* bertingkat menggunakan QGIS untuk membentuk zona jarak konsentris terhadap jaringan jalan dan sungai.

Buffer jarak selanjutnya dikonversi menjadi kelas-kelas jarak dan masing-masing kelas diberi nilai *Frequency Ratio* (FR) berdasarkan hasil penelitian terdahulu yang menunjukkan keterkaitan antara jarak infrastruktur dan kejadian longsor (Nugroho & Nugroho, 2020; Wibawanti et al., 2023). Untuk variabel jarak sungai digunakan klasifikasi 0–50 m (FR 1,15), 50–100 m (FR 1,46), 100–150 m (FR 1,11), 150–200 m (FR 0,56), dan >200 m (FR 0,14). Sementara itu, variabel jarak jalan diklasifikasikan ke dalam kelas 0–100 m (FR 0,81), 100–200 m (FR 1,30), 200–300 m (FR 1,59), 300–400 m (FR 0,84), 400–500 m (FR 0,27), dan >500 m (FR 0,62).

Peta bahaya longsor kemudian diperoleh dengan melakukan *spatial overlay* terhadap seluruh peta FR, yaitu peta hasil reklasifikasi *slope*, *aspect*, *curvature profile*, jarak terhadap sungai, dan jarak terhadap jalan. Proses *overlay* dilakukan menggunakan *raster calculator* pada QGIS dengan menjumlahkan nilai FR dari kelima parameter pada setiap piksel. Nilai hasil penjumlahan tersebut merepresentasikan skor bahaya longsor yang menunjukkan tingkat ancaman longsor berdasarkan kombinasi seluruh faktor yang dianalisis.

Untuk memudahkan interpretasi, skor bahaya hasil *overlay* selanjutnya direklasifikasi ke dalam tiga kelas bahaya, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Klasifikasi dilakukan menggunakan metode *equal interval* dengan membagi rentang nilai minimum dan maksimum skor bahaya menjadi tiga kelas yang sama besar (Pradhan, 2010). Berdasarkan hasil analisis, skor bahaya berada pada rentang 1,85 hingga 7,20, sehingga batas kelas bahaya ditetapkan sebagaimana disajikan pada Tabel 3, yang menunjukkan distribusi kelas bahaya longsor di kawasan agroindustri tahu Desa Sambak.

Tabel 3. Kelas Bahaya Longsor di Agroindustri Tahu Desa Sambak, Magelang

Kelas Bahaya	Rentang Skor Bahaya	Kategori
1	1,85 – 3,72	Rendah
2	3,72 – 5,59	Sedang
3	≥ 5,59	Tinggi

Peta Risiko Longsor
Peta risiko longsor disusun dengan mengintegrasikan tiga komponen utama, yaitu bahaya (*hazard*), kerentanan (*vulnerability*), dan kapasitas (*capacity*). Kerangka analisis risiko yang digunakan mengacu pada pendekatan *United Nations Office for Disaster Risk Reduction* (UNDRR), dengan persamaan (2) sebagai berikut (UNDRR, 2004):

$$Risk = \frac{Capacity\ (C)}{Hazard\ (H) * Vulnerability\ (V)} \qquad [2]$$

Pada penelitian ini, komponen bahaya (H) diperoleh dari peta bahaya longsor hasil overlay parameter topografi dan variabel jarak terhadap jalan serta sungai. Kerentanan (V) ditentukan berdasarkan besarnya produksi harian agroindustri tahu sebagai indikator nilai ekonomi yang terpapar, sedangkan kapasitas (C) ditetapkan berdasarkan ketersediaan infrastruktur pengelolaan lingkungan berupa Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dan digester biogas.

Penilaian kapasitas dilakukan secara kategorikal dengan tiga kelas, yaitu skor 3 untuk unit agroindustri yang memiliki IPAL dan digester (kapasitas tinggi), skor 2 apabila hanya salah satu fasilitas tersedia (kapasitas sedang), dan skor 1 apabila keduanya tidak tersedia (kapasitas rendah). Kerentanan ditetapkan berdasarkan tingkat produksi tahu harian, dengan klasifikasi produksi rendah

(1,5–2,5 kwintal) diberi nilai 1, produksi sedang (2,5–3,5 kwintal) bernilai 2, dan produksi tinggi (3,5–4 kwintal) bernilai 3.

Nilai risiko dihitung secara spasial dengan mengombinasikan peta bahaya, peta kerentanan, dan peta kapasitas menggunakan *raster calculator* pada QGIS. Hasil perhitungan kemudian diklasifikasikan ke dalam tiga kelas risiko, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Pembagian ini sejalan dengan praktik penelitian terdahulu dan mengacu pada standar nasional yang digunakan dalam Indeks Risiko Bencana Indonesia (IRBI), yang mengelompokkan tingkat risiko bencana ke dalam tiga level utama (BNPB, 2024). Rentang nilai dan interpretasi masing-masing kelas risiko disajikan pada Tabel 4, yang menunjukkan distribusi tingkat risiko longsor pada kawasan agroindustri tahu Desa Sambak.

Tabel 4. Kelas Risiko Longsor di Agroindustri Tahu Desa Sambak, Magelang

Kelas Risiko	Rentang Nilai	Interpretasi
1-Rendah	0 – 2	Wilayah dengan potensi risiko longsor relatif kecil karena kapasitas tinggi atau kerentanan rendah
2-Sedang	>2 – 4	Wilayah dengan risiko menengah, umumnya kapasitas terbatas atau kerentanan menengah
3-Tinggi	>4 – 6	Wilayah dengan risiko longsor tinggi akibat kombinasi bahaya, kerentanan tinggi, dan kapasitas rendah

HASIL DAN PEMBAHASAN

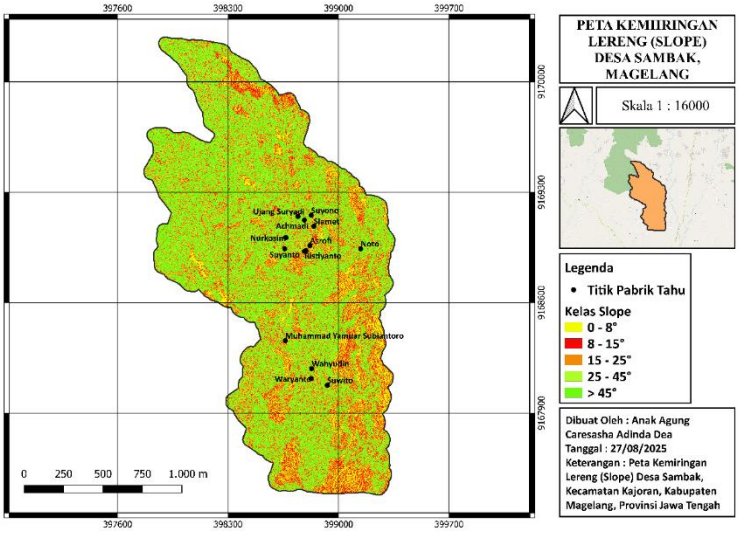
Peta *Slope*

Peta kemiringan lereng disusun berdasarkan data *digital surface model* (DSM) resolusi 0,45 m yang diolah menggunakan perangkat lunak QGIS. Kemiringan lereng diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas sudut lereng untuk merepresentasikan kondisi topografi wilayah penelitian.

Hasil pada Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai FR kemiringan lereng pada lokasi agroindustri berkisar antara 0,00 hingga 1,18. Nilai tertinggi yaitu 1,18 menunjukkan bahwa lereng dengan kemiringan sedang memiliki kecenderungan lebih tinggi terhadap kejadian longsor. Sebaliknya, nilai FR rendah (0,20–0,00) mengindikasikan kontribusi yang relatif kecil terhadap potensi longsor. Pola ini menunjukkan bahwa lereng dengan kemiringan sedang lebih rentan dibandingkan lereng sangat curam, yang kemungkinan disebabkan oleh kombinasi kondisi tanah yang masih memungkinkan akumulasi material serta aktivitas penggunaan lahan (Wibawanti et al., 2023).

Gambar 1 menunjukkan distribusi spasial kemiringan lereng di wilayah penelitian yang didominasi oleh kelas lereng sedang hingga curam. Sebaran lereng dengan kemiringan 8–25° terlihat cukup luas dan berasosiasi dengan lokasi agroindustri tahu, yang sejalan dengan nilai FR >1 pada kelas tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar unit agroindustri berada pada zona dengan potensi ketidakstabilan lereng yang relatif tinggi. Sementara itu, area dengan kemiringan sangat curam (>45°) memiliki luasan terbatas dan tidak banyak berasosiasi dengan lokasi agroindustri, sehingga kontribusinya terhadap risiko longsor relatif kecil.

Gambar 1 menunjukkan peta kemiringan lereng wilayah penelitian, sedangkan nilai FR tiap kelas kemiringan lereng disajikan pada Tabel 5.



Gambar 1. Peta Kemiringan Lereng di Agroindustri Tahu Desa Sambak, Magelang

Tabel 5. Nilai *Slope* pada Agroindustri Tahu Desa Sambak, Magelang

No	Nama Pemilik Pabrik Tahu	*Slope*
1	Muhammad Yamuar Subiantoro	1.03
2	Waryanto	0.98
3	Wahyudin	1.18
4	Suwito	1.03
5	Noto	0.20
6	Asrofi	1.03
7	Slamet	0.20
8	Suyono	0.98
9	Nurkosim	0.98
10	Suyanto	1.03
11	Ujang Suryadi	0.00
12	Achmadi	0.98
13	Ristiyanto	0.98
14	Sigit Sarosa	1.03

Peta *Aspect*

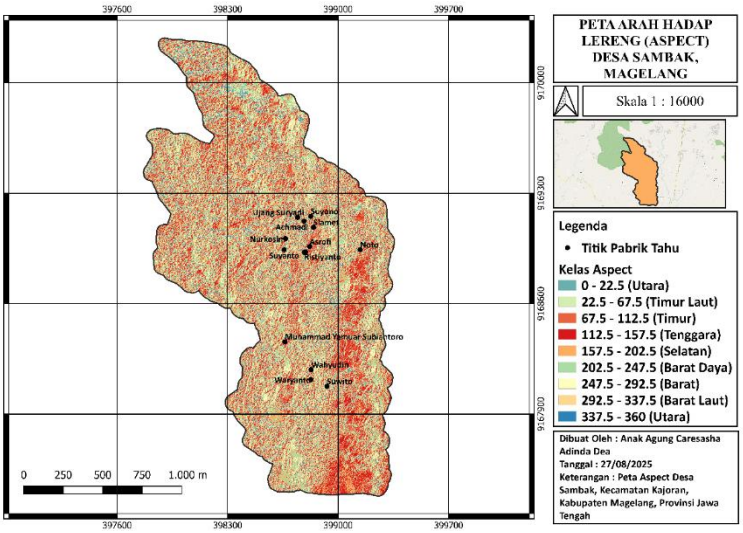
Arah hadap lereng (*aspect*) dianalisis untuk mengetahui pengaruh orientasi lereng terhadap potensi longsor. Lereng diklasifikasikan ke dalam delapan arah mata angin utama.

Hasil analisis menunjukkan bahwa lereng yang menghadap ke arah timur dan tenggara memiliki nilai FR tertinggi, yang mengindikasikan adanya hubungan yang kuat antara orientasi lereng tersebut dengan kejadian longsor di wilayah penelitian. Lereng yang menghadap ke timur dan tenggara cenderung menerima radiasi matahari yang cukup tinggi pada pagi hingga siang hari, sehingga mengalami fluktuasi suhu dan kelembapan yang lebih intens. Siklus basah–kering yang berulang ini dapat mempercepat proses pelapukan fisik dan kimia tanah, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap penurunan kohesi dan kestabilan lereng (Naseer et al., 2021).

Gambar 2 menunjukkan distribusi spasial arah hadap lereng di wilayah penelitian yang relatif bervariasi, dengan dominasi arah timur dan tenggara pada beberapa lokasi agroindustri tahu. Sebaran ini mengindikasikan bahwa sebagian unit agroindustri berada pada lereng yang lebih rentan terhadap perubahan kondisi fisik tanah akibat paparan energi matahari. Kondisi tersebut berpotensi meningkatkan kerentanan lereng terhadap infiltrasi air dan akumulasi kelembapan pada lapisan tanah tertentu, yang dapat memicu ketidakstabilan lereng (Naseer et al., 2021). Sementara itu, lereng dengan orientasi lain menunjukkan distribusi yang lebih tersebar dan tidak menunjukkan pola dominansi yang signifikan terhadap kejadian longsor. Temuan ini sejalan dengan nilai pada Tabel 6

yang menunjukkan bahwa kelas *aspect* timur dan tenggara memiliki nilai FR lebih besar dari satu (FR >1), sehingga dapat diinterpretasikan sebagai kelas yang memiliki kontribusi lebih besar terhadap potensi longsor dibandingkan dengan arah lereng lainnya.

Distribusi spasial arah hadap lereng disajikan pada Gambar 2, sedangkan nilai FR tiap kelas *aspect* tercantum pada Tabel 6.



Gambar 2. Peta Arah Hadap Lereng di Agroindustri Tahu Desa Sambak, Magelang

Tabel 6. Nilai *Aspect* pada Agroindustri Tahu Desa Sambak, Magelang

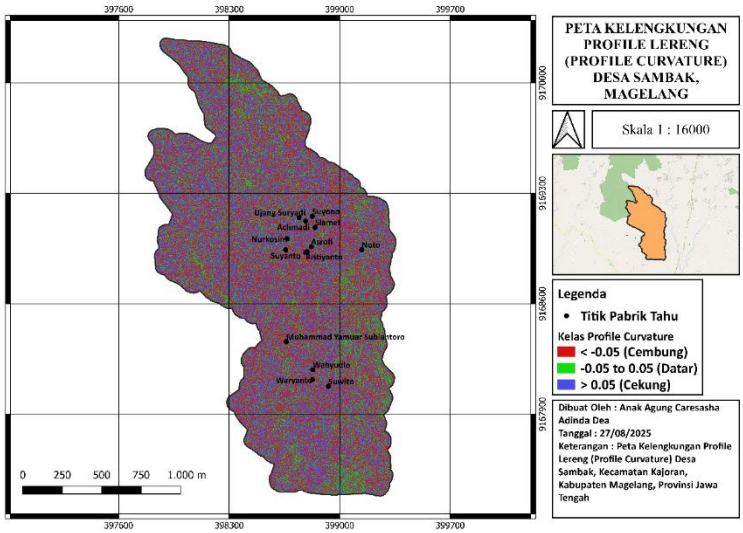
No	Nama Pemilik Pabrik Tahu	*Aspect*
1	Muhammad Yamuar Subiantoro	1.54
2	Waryanto	0.78
3	Wahyudin	1.48
4	Suwito	1.48
5	Noto	1.48
6	Asrofi	1.48
7	Slamet	1.48
8	Suyono	0.50
9	Nurkosim	1.54
10	Suyanto	0.50
11	Ujang Suryadi	0.62
12	Achmadi	0.79
13	Ristiyanto	0.91
14	Sigit Sarosa	0.78

Peta *Curvature Profile*

Kurvatur profil merupakan parameter morfometri yang menggambarkan bentuk lereng secara vertikal, yang berpengaruh terhadap pola pergerakan dan distribusi aliran air permukaan. Parameter ini diklasifikasikan menjadi tiga kelas utama, yaitu lereng cekung, datar (transisi), dan cembung.

Hasil analisis menunjukkan bahwa lereng dengan kurvatur cekung dan cembung memiliki nilai FR lebih besar dari satu (FR >1), yang mengindikasikan hubungan yang signifikan dengan kejadian longsor di wilayah penelitian. Nilai FR yang relatif tinggi pada kedua kelas ini menunjukkan bahwa frekuensi longsor pada lereng cekung dan cembung lebih besar dibandingkan proporsi luasnya. Secara umum, lereng cekung berkaitan dengan akumulasi aliran air yang meningkatkan kejenuhan tanah, sedangkan lereng cembung cenderung mengalami pelepasan material permukaan (Pradhan, 2010).

Secara spasial, Gambar 3 menunjukkan bahwa distribusi lereng cekung dan cembung mendominasi wilayah penelitian dan berasosiasi dengan lokasi agroindustri tahu. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar unit agroindustri berada pada zona dengan karakteristik morfologi yang relatif tidak stabil. Sementara itu, lereng dengan kurvatur datar memiliki nilai FR yang lebih rendah dan kontribusi yang lebih kecil terhadap kejadian longsor. Temuan ini sejalan dengan Tabel 7 yang menunjukkan dominasi nilai FR >1 pada hampir seluruh titik agroindustri.Peta kurvatur profil wilayah penelitian disajikan pada Gambar 3, dengan nilai FR masing-masing kelas tercantum pada Tabel 7.



Gambar 3. Peta Kelengkungan Profil Lereng di Agroindustri Tahu Desa Sambak, Magelang

Tabel 7. Nilai *Curvature Profile* pada Agroindustri Tahu Desa Sambak, Magelang

No	Nama Pemilik Pabrik Tahu	*Curvature Profile*
1	Muhammad Yamuar Subiantoro	1.65
2	Waryanto	1.65
3	Wahyudin	1.69
4	Suwito	0.94
5	Noto	1.65
6	Asrofi	1.65
7	Slamet	1.65
8	Suyono	0.94
9	Nurkosim	1.65
10	Suyanto	1.65
11	Ujang Suryadi	1.65
12	Achmadi	1.65
13	Ristiyanto	0.94
14	Sigit Sarosa	1.65

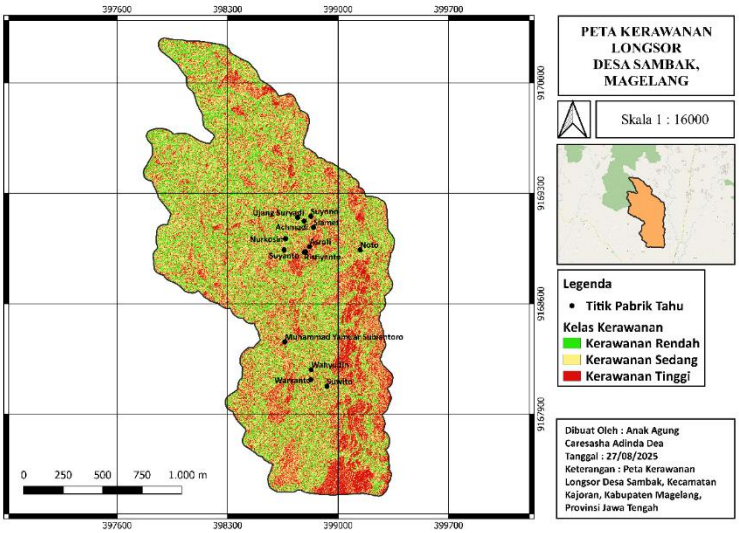
Peta Kerawanan

Peta kerawanan longsor disusun melalui proses *overlay* parameter *slope*, *aspect*, dan *curvature profile* yang telah direklasifikasi ke dalam nilai *frequency ratio* (FR). Penjumlahan nilai FR menghasilkan indeks kerentanan longsor (LSI) yang merepresentasikan tingkat kerawanan relatif secara spasial (Saha et al., 2002).

Hasil klasifikasi LSI menunjukkan bahwa wilayah penelitian terbagi ke dalam tiga kelas kerawanan, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Secara umum, kelas kerawanan sedang hingga tinggi mendominasi wilayah penelitian, yang menunjukkan bahwa kondisi fisik lereng memiliki potensi ketidakstabilan yang cukup signifikan. Zona kerawanan tinggi umumnya berasosiasi dengan lereng dengan

kemiringan menengah hingga curam serta bentuk lereng cekung, yang sebelumnya telah teridentifikasi memiliki nilai FR tinggi.

Secara spasial, Gambar 4 memperlihatkan bahwa area dengan kerawanan tinggi tersebar pada beberapa bagian wilayah dan berasosiasi langsung dengan lokasi agroindustri tahu. Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian unit agroindustri berada pada zona dengan tingkat kerawanan yang relatif tinggi. Sementara itu, area dengan kerawanan rendah memiliki sebaran yang lebih terbatas dan tidak dominan. Temuan ini sejalan dengan Tabel 8 yang menunjukkan bahwa sebagian besar titik agroindustri berada pada kelas kerawanan sedang hingga tinggi.



Gambar 4. Peta Kerawanan Longsor di Agroindustri Tahu Desa Sambak, Magelang

Tabel 8. Kelas Kerawanan Longsor pada Agroindustri Tahu Desa Sambak

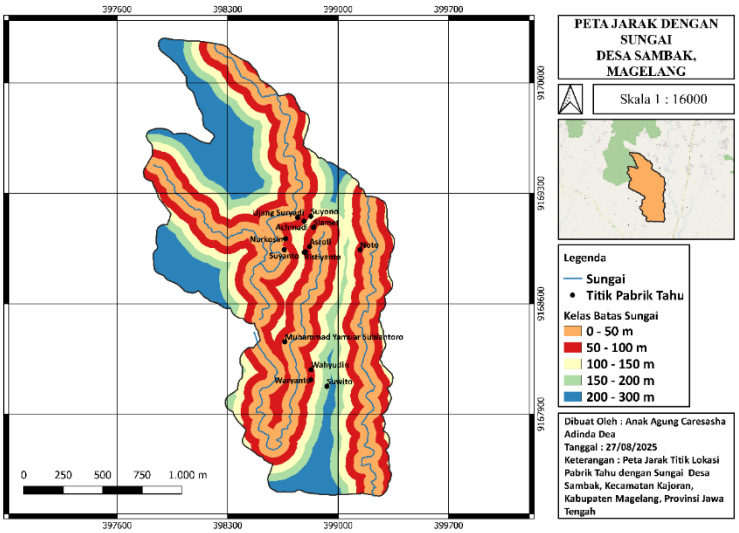
No	Nama Pemilik Pabrik Tahu	Kelas Kerawanan
1	Muhammad Yamuar Subiantoro	3
2	Waryanto	2
3	Wahyudin	3
4	Suwito	3
5	Noto	2
6	Asrofi	3
7	Slamet	2
8	Suyono	1
9	Nurkosim	3
10	Suyanto	2
11	Ujang Suryadi	1
12	Achmadi	3
13	Ristiyanto	2
14	Sigit Sarosa	3

Peta Jarak dengan Sungai

Kedekatan terhadap sungai merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap potensi longsor karena berkaitan dengan proses erosi pangkal lereng (*undercutting*) serta peningkatan kejenuhan tanah akibat fluktuasi muka air (Saha et al., 2002).

Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian besar lokasi agroindustri memiliki nilai FR jarak terhadap sungai lebih besar dari satu (FR >1), yang mengindikasikan bahwa area yang berada dekat dengan sungai memiliki kecenderungan lebih tinggi terhadap kejadian longsor. Nilai FR yang tinggi pada kelas jarak dekat menunjukkan bahwa frekuensi longsor pada zona tersebut lebih besar, sehingga faktor hidrologi memiliki kontribusi signifikan dalam meningkatkan bahaya longsor di wilayah penelitian.

Secara spasial, Gambar 5 memperlihatkan bahwa sebagian besar unit agroindustri tahu berada pada jarak yang relatif dekat dengan aliran sungai. Sebaran ini menunjukkan adanya keterkaitan langsung antara lokasi agroindustri dan zona yang berpotensi mengalami erosi kaki lereng serta kejenuhan tanah (Retyanto, 2016). Sementara itu, area yang berada pada jarak lebih jauh dari sungai menunjukkan nilai FR yang lebih rendah dan kontribusi yang lebih kecil terhadap potensi longsor. Temuan ini sejalan dengan Tabel 9 yang menunjukkan dominasi nilai FR >1 pada sebagian besar titik agroindustri.



Gambar 5. Peta Jarak Agroindustri Tahu Desa Sambak dengan Sungai

Tabel 9. Nilai Jarak pada Agroindustri Tahu Desa Sambak dengan Sungai

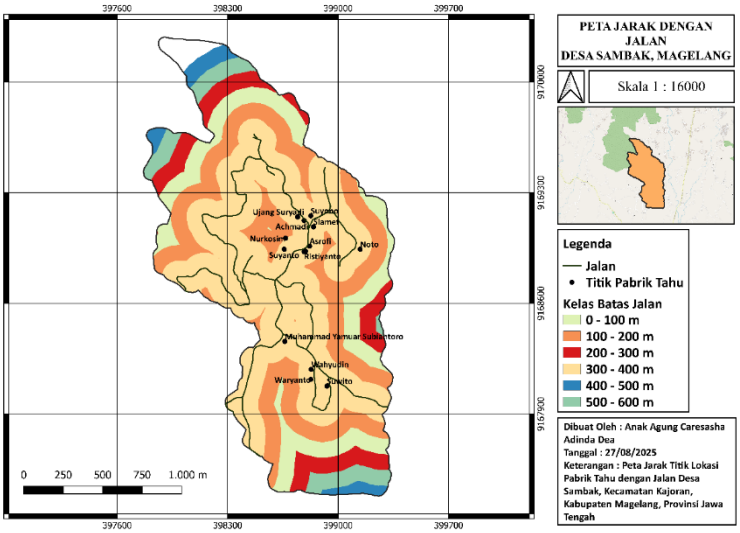
No	Nama Pemilik Pabrik Tahu	FR Jarak Sungai
1	Muhammad Yamuar Subiantoro	1.15
2	Waryanto	1.46
3	Wahyudin	1.46
4	Suwito	0.56
5	Noto	1.46
6	Asrofi	1.46
7	Slamet	1.46
8	Suyono	1.11
9	Nurkosim	1.46
10	Suyanto	1.15
11	Ujang Suryadi	1.15
12	Achmadi	1.46
13	Ristiyanto	1.46
14	Sigit Sarosa	1.46

Peta Jarak dengan Jalan

Jarak terhadap jalan merepresentasikan pengaruh aktivitas konstruksi terhadap kestabilan lereng serta potensi gangguan terhadap aksesibilitas apabila terjadi longsor (Marhendi, 2018).

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai FR jarak terhadap jalan pada sebagian besar lokasi agroindustri cenderung kurang dari satu (FR <1) dan relatif homogen. Hal ini mengindikasikan bahwa kedekatan terhadap jalan tidak memiliki hubungan yang signifikan dengan kejadian longsor di wilayah penelitian. Rendahnya nilai FR menunjukkan bahwa frekuensi kejadian longsor pada kelas jarak ini lebih kecil, sehingga kontribusinya terhadap potensi longsor relatif terbatas dibandingkan parameter lainnya.

Secara spasial, Gambar 6 memperlihatkan bahwa distribusi jarak terhadap jalan relatif merata dan tidak menunjukkan pola konsentrasi tertentu pada lokasi agroindustri tahu. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan jalan tidak secara langsung berasosiasi dengan zona longsor di wilayah penelitian. Temuan ini sejalan dengan Tabel 10 yang menunjukkan nilai FR yang cenderung seragam dan sebagian besar berada di bawah satu pada hampir seluruh titik agroindustri.



Gambar 6. Peta Jarak Agroindustri Tahu Desa Sambak dengan Jalan

Tabel 10. Nilai Jarak Agroindustri Tahu Desa Sambak dengan Jalan

No	Nama Pemilik Pabrik Tahu	FR Jarak Jalan
1	Muhammad Yamuar Subiantoro	0.81
2	Waryanto	0.81
3	Wahyudin	0.81
4	Suwito	0.81
5	Noto	0.81
6	Asrofi	0.81
7	Slamet	0.81
8	Suyono	0.81
9	Nurkosim	1.30
10	Suyanto	0.81
11	Ujang Suryadi	0.81
12	Achmadi	0.81
13	Ristiyanto	0.81
14	Sigit Sarosa	0.81

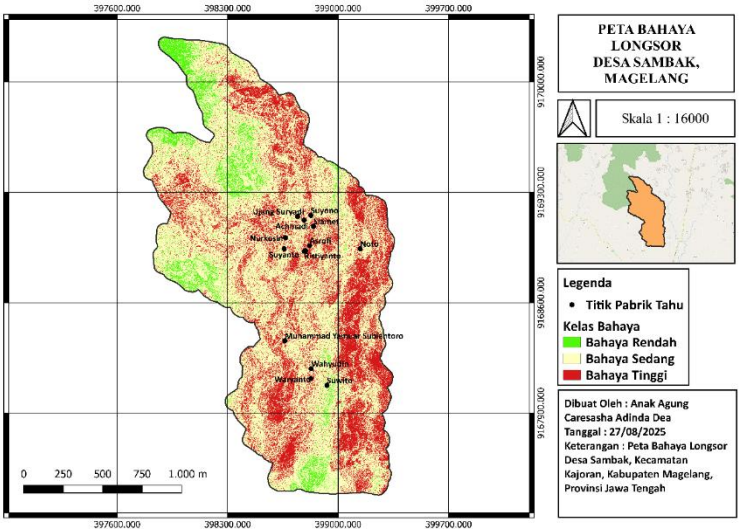
Peta Bahaya Longsor

Bahaya (*hazard*) merupakan indeks yang diperoleh dari integrasi antara kerawanan berbasis parameter topografi dengan variabel jarak terhadap sungai dan jalan, sehingga merepresentasikan kondisi pemicu longsor secara lebih komprehensif (Silalahi et al., 2019).

Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah penelitian berada pada kelas bahaya tinggi, yang mengindikasikan tingginya tingkat ancaman longsor secara fisik. Dominasi kelas bahaya tinggi ini terutama dipengaruhi oleh kombinasi kerawanan tinggi dan kedekatan terhadap

sungai yang sebelumnya telah teridentifikasi sebagai faktor signifikan. Sementara itu, kontribusi jarak terhadap jalan relatif kecil, sehingga tidak memberikan pengaruh berarti terhadap peningkatan nilai bahaya.

Secara spasial, Gambar 7 memperlihatkan bahwa zona bahaya tinggi tersebar luas dan berasosiasi langsung dengan sebagian besar lokasi agroindustri tahu. Hal ini menunjukkan bahwa unit agroindustri umumnya berada pada area dengan tingkat ancaman longsor yang tinggi. Sebaliknya, zona bahaya rendah memiliki sebaran yang lebih terbatas dan tidak dominan dalam wilayah penelitian. Temuan ini sejalan dengan Tabel 11 yang menunjukkan bahwa sebagian besar titik agroindustri berada pada kelas bahaya tinggi, dengan beberapa titik berada pada kelas sedang.



Gambar 7. Peta Bahaya Longsor pada Agroindustri Tahu Desa Sambak, Magelang

Tabel 11. Kelas Bahaya Longsor di Agroindustri Tahu Desa Sambak, Magelang

No	Nama Pemilik Pabrik Tahu	Kelas Bahaya
1	Muhammad Yamuar Subiantoro	3
2	Waryanto	3
3	Wahyudin	3
4	Suwito	2
5	Noto	3
6	Asrofi	3
7	Slamet	3
8	Suyono	2
9	Nurkosim	3
10	Suyanto	2
11	Ujang Suryadi	2
12	Achmadi	3
13	Ristiyanto	2
14	Sigit Sarosa	3

Peta Kerentanan (*Vulnerability*)

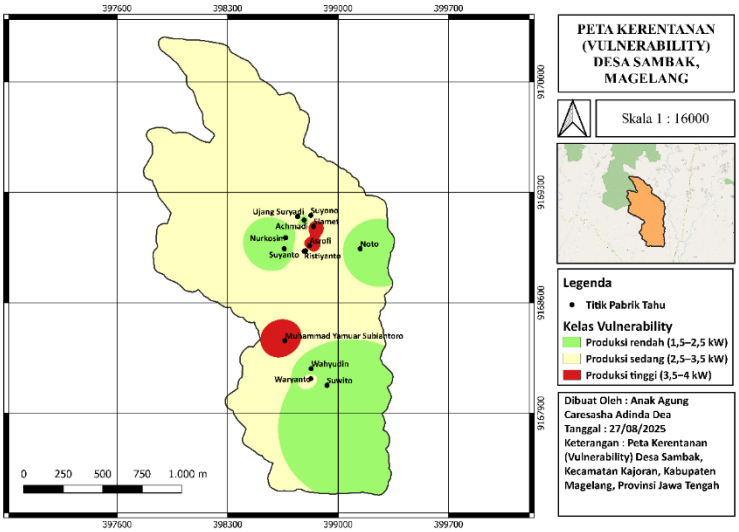
Kerentanan ditentukan berdasarkan besarnya produksi harian agroindustri tahu sebagai indikator potensi kerugian ekonomi apabila terjadi longsor (UNDRR, 2004).

Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian besar agroindustri berada pada kelas kerentanan sedang, dengan beberapa unit usaha tergolong dalam kelas kerentanan tinggi. Dominasi kelas kerentanan sedang ini mengindikasikan bahwa sebagian besar unit agroindustri memiliki tingkat potensi kerugian ekonomi yang cukup signifikan, meskipun tidak berada pada tingkat maksimum.

Sementara itu, unit dengan kerentanan tinggi menunjukkan potensi dampak ekonomi yang lebih besar apabila terdampak longsor.

Secara spasial, Gambar 8 memperlihatkan bahwa distribusi kerentanan tersebar pada beberapa lokasi agroindustri tanpa pola konsentrasi yang terlalu dominan, namun tetap menunjukkan adanya beberapa titik dengan nilai kerentanan tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa potensi kerugian ekonomi tidak hanya bergantung pada kondisi fisik wilayah, tetapi juga pada skala produksi masing-masing unit usaha. Temuan ini sejalan dengan Tabel 12 yang menunjukkan variasi nilai kerentanan pada setiap agroindustri, dengan dominasi nilai pada kelas sedang dan beberapa pada kelas tinggi.

Hasil ini menegaskan bahwa kerentanan ekonomi merupakan komponen penting dalam pembentukan risiko longsor, karena menentukan besarnya potensi kerugian yang dapat terjadi pada setiap unit agroindustri tahu.



Gambar 8. Peta Kerentanan pada Agroindustri Tahu Desa Sambak, Magelang

Tabel 12. Kelas Kerentanan Longsor di Agroindustri Tahu Desa Sambak, Magelang

No	Nama Pemilik Pabrik Tahu	FR *Vulnerability*
1	Muhammad Yamuar Subiantoro	3
2	Waryanto	2
3	Wahyudin	1
4	Suwito	1
5	Noto	1
6	Asrofi	3
7	Slamet	3
8	Suyono	2
9	Nurkosim	1
10	Suyanto	1
11	Ujang Suryadi	2
12	Achmadi	1
13	Ristiyanto	2
14	Sigit Sarosa	2

Peta Kapasitas (*Capacity*)

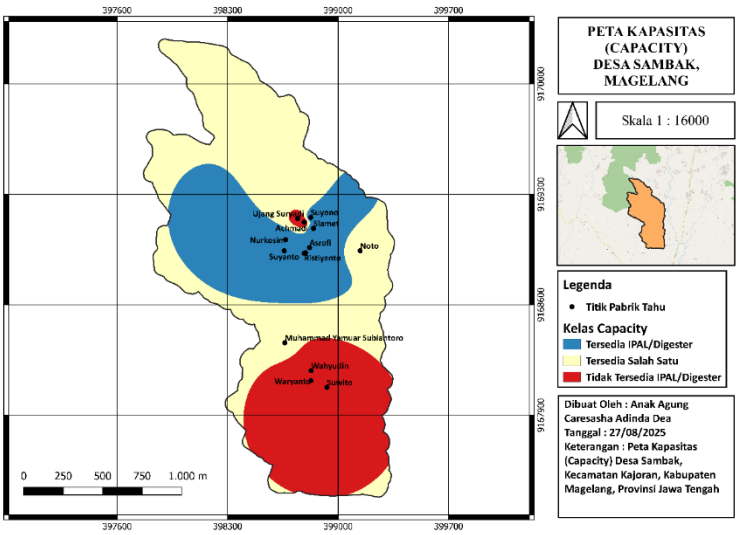
Kapasitas ditentukan berdasarkan ketersediaan infrastruktur pengelolaan lingkungan berupa instalasi pengolahan air limbah (IPAL) dan digester biogas sebagai indikator kemampuan mitigasi pada masing-masing unit agroindustri (UNDRR, 2004).

Hasil analisis menunjukkan adanya variasi kapasitas antar unit agroindustri tahu, dengan sebagian unit berada pada kelas kapasitas sedang hingga tinggi, sementara beberapa lainnya masih

tergolong dalam kapasitas rendah. Variasi ini mengindikasikan perbedaan kemampuan dalam mengelola dampak lingkungan serta kesiapsiagaan terhadap potensi bencana longsor. Unit dengan kapasitas tinggi cenderung memiliki kemampuan mitigasi yang lebih baik, sehingga berpotensi mengurangi dampak yang ditimbulkan, sedangkan unit dengan kapasitas rendah menunjukkan keterbatasan dalam menghadapi kondisi darurat.

Secara spasial, Gambar 9 memperlihatkan bahwa distribusi kapasitas tersebar tidak merata di wilayah penelitian, dengan beberapa lokasi agroindustri memiliki kapasitas rendah yang berasosiasi dengan area berpotensi bahaya tinggi. Kondisi ini menunjukkan adanya potensi peningkatan risiko pada unit-unit tersebut akibat rendahnya kemampuan mitigasi. Temuan ini sejalan dengan Tabel 13 yang menunjukkan variasi nilai kapasitas pada masing-masing agroindustri, dengan perbedaan yang cukup jelas antar unit usaha.

Hasil ini menegaskan bahwa kapasitas merupakan faktor penting dalam mengurangi tingkat risiko longsor, karena berperan dalam menentukan kemampuan suatu unit agroindustri dalam merespons dan meminimalkan dampak bencana.



Gambar 9. Peta Kapasitas pada Agroindustri Tahu Desa Sambak, Magelang

Tabel 13. Kelas Kapasitas Longsor di Agroindustri Tahu Desa Sambak, Magelang

No	Nama Pemilik Pabrik Tahu	*Capacity*
1	Muhammad Yamuar Subiantoro	2
2	Waryanto	3
3	Wahyudin	3
4	Suwito	3
5	Noto	2
6	Asrofi	1
7	Slamet	1
8	Suyono	1
9	Nurkosim	1
10	Suyanto	1
11	Ujang Suryadi	3
12	Achmadi	3
13	Ristiyanto	1
14	Sigit Sarosa	1

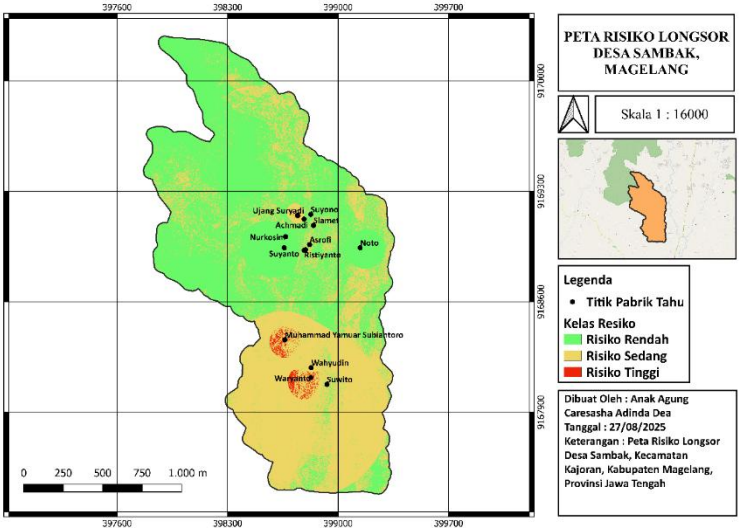
Peta Risiko Longsor

Peta risiko longsor diperoleh dengan mengintegrasikan peta bahaya, kerentanan, dan kapasitas menggunakan persamaan *Risk* = *Hazard* × *Vulnerability* / *Capacity* (UNDRR, 2004).

Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian besar agroindustri tahu berada pada kelas risiko sedang, yang mengindikasikan adanya potensi dampak yang cukup signifikan. Meskipun demikian, terdapat dua lokasi yang teridentifikasi berada pada kelas risiko tinggi. Kondisi ini disebabkan oleh kombinasi bahaya longsor yang tinggi, tingkat kerentanan ekonomi yang besar, serta kapasitas mitigasi yang rendah, sehingga meningkatkan tingkat risiko secara keseluruhan.

Secara spasial, Gambar 10 memperlihatkan bahwa distribusi risiko tidak sepenuhnya mengikuti pola bahaya, di mana beberapa lokasi dengan bahaya tinggi tetap berada pada kelas risiko sedang. Hal ini menunjukkan bahwa faktor kerentanan dan kapasitas memiliki peran penting dalam menentukan tingkat risiko. Temuan ini menegaskan bahwa risiko longsor tidak hanya ditentukan oleh kondisi fisik, tetapi juga oleh faktor sosial-ekonomi dan kemampuan mitigasi pada masing-masing unit agroindustri.

Hasil ini sejalan dengan Tabel 14 yang menunjukkan dominasi kelas risiko sedang serta keberadaan beberapa titik dengan risiko tinggi. Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan bahwa pendekatan integratif antara bahaya, kerentanan, dan kapasitas mampu memberikan gambaran risiko yang lebih realistis, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan mitigasi yang lebih tepat sasaran.



Gambar 10. Peta Risiko Longsor pada Agroindustri Tahu Desa Sambak, Magelang

Tabel 14. Kelas Risiko Longsor di Agroindustri Tahu Desa Sambak, Magelang

No	Nama Pemilik Pabrik Tahu	Kelas Risiko
1	Muhammad Yamuar Subiantoro	3
2	Waryanto	3
3	Wahyudin	2
4	Suwito	2
5	Noto	1
6	Asrofi	2
7	Slamet	2
8	Suyono	1
9	Nurkosim	1
10	Suyanto	1
11	Ujang Suryadi	2
12	Achmadi	2
13	Ristiyanto	1
14	Sigit Sarosa	2

Parameter yang Berpengaruh terhadap Risiko Longsor

Untuk menilai parameter yang paling berkontribusi terhadap pembentukan kelas risiko tinggi, dilakukan analisis statistik sederhana terhadap nilai rata-rata (*mean*) tiap parameter pada seluruh titik agroindustri dan pada titik dengan kelas risiko tinggi (RSK = 3). Ringkasan hasil analisis tersebut disajikan pada tabel 15.

Tabel 15. Rata-rata tiap parameter pada titik agroindustri tahu

Parameter	*Mean* (seluruh titik)	*Mean* (titik *risk*=3)	*Count* (*risk*=3 & FR>1)	% dari titik *risk*=3
Slope	0.831	1.005	1	50.0%
Aspect	1.097	1.16	1	50.0%
Curvature	1.501	1.65	2	100.0%
Jarak Sungai	1.304	1.305	2	100.0%
Jarak Jalan	0.845	0.81	0	0.0%
Kerawanan	2.357	2.5	2	100.0%
Bahaya	2.643	3.0	2	100.0%
Kerentanan	1.786	2.5	2	100.0%
Kapasitas	1.857	2.5	2	100.0%

Hasil pada Tabel 15 menunjukkan bahwa tidak semua parameter memiliki tingkat konsistensi yang sama pada titik risiko tinggi. Pada parameter topografi, kemiringan lereng (*slope*) dan arah hadap lereng (*aspect*) hanya muncul pada 50% titik risiko tinggi, sehingga perannya bersifat pendukung dan tidak dominan. Sebaliknya, *curvature profile* menunjukkan nilai *mean* yang relatif tinggi (1,65) dengan konsistensi 100%, yang menandakan bahwa bentuk lereng merupakan parameter topografi yang paling kuat berasosiasi dengan risiko longsor tinggi.

Pada parameter non-topografi, jarak terhadap sungai menunjukkan konsistensi 100% pada titik risiko tinggi, mengindikasikan peran penting proses hidrologi dan erosi kaki lereng dalam meningkatkan bahaya longsor. Sementara itu, jarak terhadap jalan tidak menunjukkan kontribusi signifikan pada konteks studi ini, sebagaimana tercermin dari nilai FR < 1 dan konsistensi 0%.

Analisis indeks komposit memperlihatkan pola yang lebih stabil. Indeks kerawanan dan indeks bahaya keduanya menunjukkan konsistensi 100% pada titik risiko tinggi, menegaskan bahwa kombinasi faktor topografi dan kedekatan terhadap sungai merupakan dasar utama pembentukan bahaya. Pada tahap risiko, indeks kerentanan dan indeks kapasitas juga konsisten muncul pada seluruh titik risiko tinggi, yang menunjukkan bahwa selain faktor fisik, aspek sosial-ekonomi dan ketersediaan infrastruktur pengelolaan lingkungan berperan penting dalam menentukan tingkat risiko akhir.

Berdasarkan hasil tersebut, parameter yang paling berpengaruh dan layak diprioritaskan dalam verifikasi lapangan dan pengembangan rekomendasi mitigasi adalah *curvature profile*, jarak terhadap sungai, indeks kerawanan, indeks bahaya, indeks kerentanan, dan indeks kapasitas. Parameter dengan konsistensi rendah, seperti *slope*, *aspect*, dan jarak jalan, perlu ditinjau ulang melalui validasi lapangan sebelum dijadikan dasar pengambilan keputusan operasional. Didapatkan juga data hasil wawancara atau partisipatori yang dilakukan dengan Bapak Sekretaris Desa Sambak. Dengan cara ini, meskipun tidak dilakukan *ground check* secara langsung, hasil peta tetap dapat terjustifikasi karena adanya kesesuaian antara pola kerawanan spasial dengan catatan kejadian nyata yang terdokumentasi di media atau laporan resmi. Oleh karena itu, peta risiko yang dihasilkan dalam penelitian ini direkomendasikan untuk digunakan sebagai alat penyaringan awal (*screening tool*), yang selanjutnya perlu diperkuat dengan verifikasi lapangan dan perhitungan FR berbasis data historis lokal guna meningkatkan keandalan dalam perencanaan mitigasi (Putra et al., 2025).

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa risiko longsor pada agroindustri tahu di Desa Sambak didominasi oleh kelas risiko sedang, dengan dua unit usaha, yaitu milik Muhammad Yamuar Subiantoro dan Waryanto, berada pada kelas risiko tinggi. Tingginya risiko pada kedua lokasi tersebut dipengaruhi oleh dominasi parameter *curvature profile* dan kedekatan terhadap sungai, yang secara konsisten memberikan kontribusi terbesar dalam meningkatkan potensi longsor, serta diperkuat oleh tingginya kerentanan ekonomi dan rendahnya kapasitas mitigasi. Sebaliknya, unit agroindustri pada kelas risiko sedang menunjukkan bahwa meskipun berada pada kondisi bahaya yang relatif tinggi, faktor kapasitas dan kerentanan masih mampu menekan tingkat risiko. Hal ini menegaskan bahwa risiko longsor merupakan hasil interaksi antara faktor fisik dan sosial-ekonomi. Berdasarkan hasil tersebut, upaya mitigasi perlu difokuskan pada lokasi berisiko tinggi melalui penguatan kapasitas, pengelolaan drainase, dan pengendalian erosi di sekitar lereng yang berdekatan dengan sungai. Peta risiko yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar awal dalam penentuan prioritas mitigasi, dengan tetap memerlukan verifikasi lapangan untuk meningkatkan akurasi penerapannya. Keterbatasan utama dalam penelitian yaitu nilai FR yang digunakan adalah data sekunder yang didapat dari penelitian sebelumnya pada daerah yang sama. Hal ini dipertimbangkan karena penelitian terdahulu sudah menghitung FR berbasis data longsor riil di lapangan. Dengan demikian, penggunaan nilai FR dari literatur tetap valid dan dapat dijustifikasi

DAFTAR PUSTAKA

BNPB. (2023). Buku data bencana Indonesia 2023. *Buku Data Bencana Indonesia*, *3*, 3–11.

BNPB. (2024). Indeks risiko bencana Indonesia tahun 2024. In *Badan Nasional Penanggulangan Bencana* (Vol. 03).

Erzagian, E., Wilopo, W., & Fathani, T. F. (2023). Landslide susceptibility zonation using GIS-based frequency ratio approach in the Kulon Progo mountains area, Indonesia. *Progress in Landslide Research and Technology*, *Part F4147*(2), 115–126. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44296-4_3

Marhendi, T.-. (2018). Pengaruh meander dan keamanan lereng terhadap kejadian longsor di jalan raya Prupuk–Bumiayu (km 115+50–115+900). *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, *19*(1), 7. https://doi.org/10.30595/techno.v19i1.2120

Naseer, S., Haq, T. U., Khan, A., Tanoli, J. I., Khan, N. G., Qaiser, F. ur R., & Shah, S. T. H. (2021). GIS-based spatial landslide distribution analysis of district Neelum, AJK, Pakistan. *Natural Hazards*, *106*(1), 965–989. https://doi.org/10.1007/s11069-021-04502-5

Nugroho, D. D., & Nugroho, H. (2020). Analisis kerentanan tanah longsor menggunakan metode frequency ratio di Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat. *Geoid*, *16*(1), 8. https://doi.org/10.12962/j24423998.v16i1.7680

Pradhan, B. (2010). Landslide susceptibility mapping of a catchment area using frequency ratio, fuzzy logic and multivariate logistic regression approaches. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, *38*(2), 301–320. https://doi.org/10.1007/s12524-010-0020-z

Putra, M. S. G. P., Anggraini, N., & Wahyuni, D. (2025). *Landslide mitigation strategies in riverbank areas: A step-by-step guide to design retaining wall* (Vol. 1). Atlantis Press International BV. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-678-9_14

Rakuasa, H.-, Somae, G., Sihasale, D. A., Pakniany, Y., Septory, J. S. I., & Latue, P. C. (2023). Analisis spasial daerah rawan longsor di Kecamatan Damer, Kabupaten Maluku Barat Daya, Provinsi Maluku. *El-Jughrafiyah*, *3*(1), 62. https://doi.org/10.24014/jej.v3i1.20278

Retyanto, D. B. (2016). Analisis faktor penyebab longsor tebing daerah aliran Sungai Secayu untuk pertimbangan sebagai daerah pemukiman di Kabupaten Wonosobo. *Jurnal PPKM II*, *3*(2), 82–88.

Saha, A. K., Gupta, R. P., & Arora, M. K. (2002). GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas. *International Journal of Remote Sensing*, *23*(2), 357–369. https://doi.org/10.1080/01431160010014260

Sheng, M., Zhou, J., Chen, X., Teng, Y., Hong, A., & Liu, G. (2022). Landslide susceptibility prediction based on frequency ratio method and C5.0 decision tree model. *Frontiers in Earth Science*,

10(May), 1–14. https://doi.org/10.3389/feart.2022.918386

Silalahi, F. E. S., Pamela, Arifianti, Y., & Hidayat, F. (2019). Landslide susceptibility assessment using frequency ratio model in Bogor, West Java, Indonesia. *Geoscience Letters*, *6*(1). https://doi.org/10.1186/s40562-019-0140-4

UNDRR. (2004). Risk awareness and assessment. *Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*, 36–78.

Wang, Z., Goetz, J., & Brenning, A. (2022). Transfer learning for landslide susceptibility modeling using domain adaptation and case-based reasoning. *Geoscientific Model Development*, *15*(23), 8765–8784. https://doi.org/10.5194/gmd-15-8765-2022

Wibawanti, E., Sartohadi, J., Ngadisih, N., Setiawan, A., & Mardiatno, D. (2023). Keefektifan “ProKlim” dalam pengendalian longsor secara vegetatif di Kampung Iklim Desa Sambak, Kajoran, Magelang. *AgriTECH*, *43*(2), 105. https://doi.org/10.22146/agritech.72009