

Tingkat risiko bencana tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo, Kabupaten Wonogiri

Landslide disaster risk level in Tirtomoyo District, Wonogiri Regency

Mutiara Riska Ramadhani^{1*}, Nur Miladan^{1,2}, dan Galing Yudana¹

¹Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

²Pusat Informasi dan Pembangunan Wilayah, Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

*Email korespondensi: mutiarariska03@student.uns.ac.id

Abstrak. Kecamatan Tirtomoyo di Kabupaten Wonogiri memiliki tingkat kejadian bencana tanah longsor yang relatif tinggi dan cenderung meningkat dari tahun ke tahun. Kondisi ini dipengaruhi oleh karakteristik fisik yang didominasi perbukitan, curah hujan yang tinggi, serta aktivitas masyarakat di sekitar lereng yang berpotensi meningkatkan kerentanan bencana. Bencana tanah longsor yang terjadi menimbulkan dampak signifikan pada kondisi infrastruktur dan aktivitas sosial ekonomi wilayah. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji tingkat risiko bencana tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo sebagai dasar perencanaan pembangunan wilayah yang berwawasan kebencanaan. Penelitian menggunakan pendekatan deduktif kuantitatif melalui teknik skoring dan pembobotan serta analisis tampalan spasial. Data yang digunakan meliputi data fisik wilayah dan data sosial ekonomi yang relevan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah Kecamatan Tirtomoyo terbagi ke dalam zona aman dan zona berisiko bencana tanah longsor dengan tingkat risiko rendah, sedang, dan tinggi. Tingkat bahaya tanah longsor dipengaruhi oleh faktor kemiringan lereng, jenis batuan, jenis tanah, curah hujan, dan tutupan lahan, yang secara umum didominasi oleh bahaya tingkat sedang. Sementara itu, tingkat kerentanan wilayah yang ditinjau dari aspek sosial, fisik, dan ekonomi didominasi oleh kerentanan rendah. Kombinasi antara tingkat bahaya dan kerentanan tersebut membentuk variasi tingkat risiko bencana tanah longsor di wilayah penelitian. Temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam penyusunan strategi mitigasi bencana dan perencanaan pembangunan wilayah yang lebih adaptif dan berkelanjutan di Kecamatan Tirtomoyo.

Kata Kunci: Bahaya; Kerentanan; Risiko Bencana; Tanah Longsor

Abstract. Tirtomoyo Sub-district in Wonogiri Regency has relatively high and increasing frequency of landslide disasters. This condition is influenced by the area's physical characteristics, dominated by hilly terrain, high rainfall intensity, and human activities on slopes that increase disaster vulnerability. Landslide events have caused significant impacts, particularly on infrastructure damage and socio-economic activities. This study aims to assess landslide disaster risk levels in Tirtomoyo Sub-district as a basis for disaster-informed regional development planning. A deductive approach with quantitative methods is employed, utilizing scoring and weighting techniques combined with spatial overlay analysis. The study uses physical environmental data and relevant socio-economic data. The results indicate that Tirtomoyo Sub-district is classified into safe zones and landslide risk zones with low, moderate, and high risk levels. Landslide hazard levels are influenced by slope gradient, lithology, soil type, rainfall, and land cover, with the study area predominantly characterized by moderate hazard levels. Meanwhile, vulnerability assessment based on social, physical, and economic aspects shows that the area is generally dominated by low vulnerability. The interaction between hazard and vulnerability factors generates varying levels of landslide risk across the study area. These findings provide important insights for disaster mitigation strategies and support the development of more adaptive and sustainable regional planning in Tirtomoyo Sub-district.

Keywords: Disaster Risk; Hazard; Landslide; Vulnerability

1. Pendahuluan

Bencana alam merupakan tantangan serius bagi masyarakat di berbagai belahan dunia, termasuk Indonesia. Indonesia dikenal sebagai salah satu wilayah yang rawan terhadap berbagai jenis bencana alam seperti banjir, tanah longsor, gempa bumi, gunung meletus, dan lain sebagainya. Di antara berbagai jenis bencana alam tersebut, tanah longsor menjadi salah satu bencana yang paling sering terjadi. Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana, sepanjang tahun 2020 hingga 2024 tercatat bahwa bencana tanah longsor telah terjadi sebanyak 3.698 kejadian [1]. Banyaknya kejadian tersebut menunjukkan bahwa tanah longsor merupakan bencana yang sering terjadi terutama di wilayah-wilayah yang memiliki curah hujan yang tinggi dan bertopografi perbukitan. Tanah longsor sendiri adalah peristiwa pergerakan tanah dan batuan yang bergerak menuruni lereng akibat terganggunya kestabilan lereng yang dapat dipicu oleh faktor fisik maupun aktivitas manusia [2]. Faktor fisik tersebut diantaranya seperti kemiringan lereng yang curam, curah hujan yang tinggi serta kondisi batuan dan tanah yang memiliki kestabilan yang lemah. Sementara itu, aktivitas manusia yang dapat memicu tanah longsor yaitu aktivitas pertanian, pembangunan yang dapat membebani lereng, dan pemotongan lereng [3].

Kecamatan Tirtomoyo, Kabupaten Wonogiri merupakan salah satu wilayah yang berpotensi terhadap bencana tanah longsor. Berdasarkan data Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Wonogiri, tercatat bahwa dari tahun ke tahun bencana tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo terus meningkat hingga pada tahun 2024 terhitung sebanyak 52 kejadian dalam setahun [4]. Kondisi ini disebabkan oleh wilayahnya yang memiliki topografi perbukitan karena letaknya di daerah kaki Pegunungan Sewu, selain itu juga memiliki curah hujan yang tinggi, serta adanya aktivitas masyarakat yang bermukim di sekitar lereng. Akibatnya, Kecamatan Tirtomoyo sering mengalami kerugian seperti kerusakan infrastruktur dan terhambatnya aksesibilitas masyarakat karena jalan utama tertutup oleh material longsor [5]. Mengetahui hal tersebut, penting untuk mengetahui tingkat risiko bencana tanah longsor guna meminimalisir dampak yang ditimbulkan. Risiko merupakan sebuah pendekatan untuk menilai kemungkinan dampak negatif yang timbul akibat potensi bencana di suatu wilayah [6]. Munculnya suatu risiko bencana umumnya disebabkan oleh adanya interaksi antara bahaya (*hazard*) dan kerentanan (*vulnerability*) yang ada di wilayah [7]. Bahaya atau kerawanan merupakan suatu kondisi wilayah yang menyebabkan terjadinya tanah longsor seperti kemiringan lereng sebagai penyebab utama dan penyebab lainnya yaitu curah hujan, tutupan lahan, dan struktur geologi [8]. Sementara kerentanan adalah kondisi individu/kelompok yang dipengaruhi oleh faktor eksternal yang mengancam kehidupan masyarakat baik dari sisi mata pencahariannya, produktivitas ekonomi dan kesejahteraan, infrastruktur dan sumber daya alamnya sehingga muncul adanya penurunan ketahanan masyarakat [9]. Kerentanan tersebut dibagi menjadi tiga kategori yaitu fisik yang berkaitan infrastruktur, sosial kependudukan, dan ekonomi [10]. Tingkat kerentanan sosial umumnya dapat diukur melalui kepadatan penduduk, rasio penduduk berdasarkan jenis kelamin, usia rentan, difabel, tingkat pendidikan, dan penduduk miskin [11]. Kerentanan fisik dapat diukur melalui kepadatan rumah, jumlah fasilitas umum dan kritis, serta fasilitas penunjang aksesibilitas [9]. Sementara itu, kerentanan ekonomi dapat diukur melalui luas lahan produktif, jumlah sarana ekonomi, dan penduduk bekerja [12].

Adanya potensi bahaya dan kerugian yang menimbulkan kerentanan terhadap bencana tanah longsor, menjadikan pengkajian terhadap risiko bencana tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo sangat penting untuk dilakukan guna menghindari dampak yang ditimbulkan oleh bencana tanah longsor. Pengkajian terhadap potensi bencana tanah longsor ini telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya, seperti penelitian [13] yang mengkaji potensi bahaya tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo dan penelitian [14] yang mengkaji kerentanan bencana tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo. Jika penelitian sebelumnya lebih menitikberatkan pada masing-masing aspek bahaya dan kerentanan, maka penelitian ini akan mengintegrasikan kedua aspek tersebut untuk melakukan pengkajian terhadap risiko bencana tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo. Hal ini dikarenakan suatu risiko bencana dapat ditentukan oleh dua faktor yaitu faktor bahaya dan kerentanan [15]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat risiko bencana tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo sehingga dapat memberi gambaran mengenai potensi risiko yang mungkin dihadapi oleh masyarakat setempat.

2. Metode

Penelitian ini merupakan penelitian yang dilakukan dengan pendekatan deduktif dan termasuk kedalam kategori penelitian kuantitatif. Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini merupakan data primer dan data sekunder dengan teknik pengumpulan data primer melalui observasi lapangan dan pengumpulan data sekunder melalui pengkajian terhadap studi literatur, *website*, citra satelit, dan instansi terkait. Dalam proses analisis data, terdapat dua teknik analisis data yang digunakan yaitu *skoring* dan pembobotan *serta spatial overlay*.

2.1. Teknik analisis skoring dan pembobotan

Dalam mengukur tingkat bahaya dan kerentanan bencana tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo, dilakukan skoring dan pembobotan pada masing-masing indikator yang berpedoman pada hasil modifikasi dari beberapa sumber yang dapat dilihat pada Tabel 1. Sesuai dengan beberapa sumber yang telah didapatkan, pengkajian terhadap potensi bahaya dilakukan dengan dukungan data-data lingkup kecamatan sedangkan kerentanan dilakukan dalam lingkup desa/kelurahan.

Tabel 1. Skor dan bobot bahaya dan kerentanan.

Variabel	Sub Variabel	Indikator	Parameter	Skor	Bobot
Bahaya	Kemiringan lereng	Kemiringan lereng [12,16]	<5 %	1	50%
			5-15 %	2	
			>15 %	3	
	Jenis batuan	Jenis batuan [16,17]	Aluvial	1	15%
			Sedimen	2	
			Vulkanik	3	
	Jenis tanah	Jenis tanah [12,16]	Aluvial, latosol	1	15%
			Mediteran, grumosol	2	
			Andosol	3	
	Curah hujan	Curah hujan [12,16]	<1000 mm/tahun	1	10%
			1000-2000 mm/tahun	2	
			>2000 mm/tahun	3	
Kerentanan	Tutupan lahan	Tutupan lahan [12,16,18]	Hutan dan semak	1	10%
			Sawah, tegalan, perkebunan	2	
			Permukiman	3	
	Kerentanan sosial	Kepadatan penduduk [12,16,19,20]	<500 jiwa/km ²	1	60%
			500-1000 jiwa/km ²	2	
			>1000 jiwa/km ²	3	
	Kerentanan fisik	Rasio penduduk rentan [16,19,20]	<20%	1	40%
			20-40%	2	
			>40%	3	
	Kerentanan fisik	Kepadatan bangunan	<100 bangunan/Ha	1	70%

Variabel	Sub Variabel	Indikator	Parameter	Skor	Bobot
		[16,19,20]	100-300 bangunan/Ha	2	
			>300 bangunan/Ha	3	
		Jumlah fasilitas umum dan kritis	<30	1	
		[16,19,20]	30-60	2	30%
			>60	3	
		Persentase luas lahan produktif [16,19,20]	<30 %	1	
			30-50 %	2	60%
			>50 %	3	
	Kerentanan ekonomi	Jumlah sarana ekonomi	<15	1	
		[16,19,20]	15-30	2	40%
			>30	3	

Kemudian setelah dilakukan skoring dan pembobotan pada masing-masing indikator, selanjutnya dapat terbagi menjadi empat kategori dengan nilai interval sesuai dengan hasil perhitungan yang telah dilakukan sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2.

$$\text{Interval} = \frac{\text{Nilai maksimal}-\text{Nilai minimal}}{\text{Jumlah kelas}} = \frac{3-1}{4} = 0,5$$

Tabel 2. Klasifikasi tingkat bahaya dan kerentanan.

	Bahaya	Kerentanan Sosial	Kerentanan Fisik	Kerentanan Ekonomi
Aman	1-1,50	1-1,50	1-1,50	1-1,50
Rendah	1,51-2,01	1,51-2,01	1,51-2,01	1,51-2,01
Sedang	2,02-2,52	2,02-2,52	2,02-2,52	2,02-2,52
Tinggi	2,53-3	2,53-3	2,53-3	2,53-3

Setelah diketahui klasifikasi pada masing-masing sub variabel, kemudian dilakukan pembobotan kembali pada variabel kerentanan dengan berdasarkan pada hasil modifikasi dari berbagai sumber yang didapatkan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Skor dan bobot kerentanan.

Sub Variabel	Indikator	Skor	Bobot
	Aman	0	
Kerentanan sosial [10,12,16,18,20]	Rendah	1	
	Sedang	2	50%
	Tinggi	3	
	Aman	0	
Kerentanan fisik [10,16,18,20]	Rendah	1	
	Sedang	2	25%
	Tinggi	3	
	Aman	0	25%

Sub Variabel	Indikator	Skor	Bobot
Kerentanan	Rendah	1	
ekonomi	Sedang	2	
[10,16,18,20]	Tinggi	3	

Setelah dilakukan skoring dan pembobotan kembali pada variabel kerentanan, kemudian dapat terbagi menjadi empat kategori dengan nilai interval sesuai dengan hasil perhitungan yang telah dilakukan sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.

$$\text{Interval} = \frac{\text{Nilai maksimal}-\text{Nilai minimal}}{\text{Jumlah kelas}} = \frac{3-0}{4} = 0,75$$

Tabel 4. Klasifikasi tingkat bahaya dan kerentanan.

Kerentanan	Nilai Interval	Skor
Aman	0-0,75	0
Rendah	0,76-1,51	1
Sedang	1,52-2,27	2
Tinggi	2,28-3	3

2.2. Teknik analisis *spatial overlay*

Analisis *spatial overlay* merupakan salah satu analisis yang termasuk kedalam Sistem Informasi Geografis. Pada penelitian ini, analisis *spatial overlay* digunakan untuk menggabungkan hasil *skoring* setiap parameter pada variabel bahaya dan kerentanan. Analisis ini juga memanfaatkan fasilitas *intersect* yang digunakan untuk menggabungkan beberapa peta menjadi sebuah peta baru, contohnya yaitu penggabungan dari peta bahaya dengan peta kerentanan bencana tanah longsor yang menghasilkan peta risiko bencana tanah longsor berdasarkan tingkatannya yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Dari hasil *intersect* tersebut kemudian dapat terbagi menjadi empat kategori dengan nilai interval sesuai dengan hasil perhitungan yang telah dilakukan sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5.

$$\text{Interval} = \frac{\text{Nilai maksimal}-\text{Nilai minimal}}{\text{Jumlah kelas}} = \frac{6-0}{4} = 1,5$$

Tabel 4. Klasifikasi tingkat risiko bencana tanah longsor.

Kerentanan	Nilai Interval
Aman	0-1,50
Rendah	1,51-3,01
Sedang	3,02-4,52
Tinggi	4,53-6,03

3. Hasil penelitian dan pembahasan

3.1. *Bahaya bencana tanah longsor*

Penilaian bahaya bencana tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo dilakukan dengan mengkaji faktor-faktor penyebabnya seperti kemiringan lereng, jenis batuan, jenis tanah, curah hujan, tutupan lahan. Pengkajian tersebut didukung dengan data-data yang didapatkan dari Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman dan Pertanahan Kabupaten Wonogiri. Berdasarkan kondisi saat ini, Kecamatan Tirtomoyo memiliki kemiringan lereng yang didominasi oleh kemiringan lereng landai hingga curam (15-40%) dengan luas mencapai 7.358 Ha dan sisanya merupakan wilayah dengan kemiringan lereng berupa datar hingga landai (<15%) dengan luas 1.915 Ha dan kemiringan lereng curam hingga sangat curam (>40%) dengan luas 674 Ha. Kemiringan lereng ini merupakan penyebab utama dari bencana tanah longsor, sehingga wilayah dengan kemiringan lereng yang landai maka akan lebih rentan terhadap terjadinya bencana tanah longsor. Wilayah dengan kemiringan lereng yang landai hingga sangat curam akan mengalami peningkatan potensi bahaya bencana tanah longsor apabila memiliki karakteristik batuan dan tanah yang rentan terhadap bencana tanah longsor.

Batuan dan tanah merupakan komponen yang juga dapat menyebabkan terjadinya bencana tanah longsor. Hal ini dikarenakan keduanya merupakan komponen penyusun lereng yang berhubungan langsung dengan kestabilan lereng. Terkait jenis batuan, Kecamatan Tirtomoyo didominasi oleh jenis batuan vulkanik yang luasnya mencapai 8.779 Ha dan sisanya berupa batuan aluvial dengan luas 1.167 Ha. Batuan vulkanik merupakan batuan yang memiliki struktur lebih gembur dan lunak sehingga memiliki kepekaan tinggi terhadap longsor, sementara batuan aluvial bersifat cenderung stabil karena memiliki tekstur yang solid dan memiliki kepekaan yang rendah terhadap tanah longsor. Sehingga daerah dengan struktur batuan vulkanik, akan lebih rentan terhadap tanah longsor. Sedangkan untuk jenis tanah di Kecamatan Tirtomoyo didominasi oleh tanah latosol dengan luas mencapai 6.641 Ha dan sisanya merupakan tanah aluvial dengan luas 3.485 Ha. Kedua jenis tanah ini relatif tahan terhadap erosi sehingga mampu membantu dalam menjaga kestabilan lereng.

Adanya kemiringan lereng yang curam serta jenis batuan dan tanah yang rentan terhadap tanah longsor akan semakin parah jika disertai dengan curah hujan yang tinggi. Kondisi ini terjadi di Kecamatan Tirtomoyo di mana tanah longsor sering terjadi pada saat musim penghujan. Hal ini disebabkan oleh curah hujan yang tinggi yaitu >2000 mm/tahun. Adanya kondisi ini menyebabkan wilayah dengan kemiringan lereng landai hingga sangat curam menjadi lebih rentan terhadap terjadinya bencana tanah longsor. Selain itu, tutupan lahan juga berpengaruh terhadap terjadinya bencana tanah longsor. Hal ini dikarenakan jika tutupan lahan hutan berkurang akibat konversi menjadi permukiman atau sawah, maka stabilitas lereng dapat terganggu sehingga dapat meningkatkan risiko longsor. Berikut merupakan luasan tutupan lahan yang didapatkan dari Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman dan Pertanahan Kabupaten Wonogiri.

Tabel 6. Luasan tutupan lahan di Kecamatan Tirtomoyo.

No.	Jenis Tutupan Lahan	Luas (Ha)
1.	Hutan rimba	1.572
2.	Padang rumput	1
3.	Tegalan/ladang	3.534
4.	Perkebunan	991
5.	Sawah	1.588
6.	Semak belukar/alang-alang	100
7.	Permukiman	2.055
8.	Sungai	105

Berdasarkan Tabel 6, tutupan lahan di Kecamatan Tirtomoyo didominasi oleh tegalan dan ladang yang luasnya mencapai 3.534 Ha. Secara keseluruhan, tegalan, dan ladang di Kecamatan Tirtomoyo ini tidak hanya berfungsi sebagai sumber pangan tetapi juga sebagai lahan penanaman pohon yang dapat mengurangi dampak longsor dan memperkuat struktur tanah. Selain itu, tutupan lahan kedua yang mendominasi Kecamatan Tirtomoyo yaitu permukiman dengan luas mencapai 2.055 Ha. Kawasan permukiman tersebut dapat menjadi salah satu pemicu terjadinya bencana tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo terutama kawasan permukiman yang terletak di lereng perbukitan.

Sesuai dengan identifikasi terhadap indikator bahaya tanah longsor, kemudian dilakukan *skoring* dan pembobotan terhadap masing-masing indikator bahaya tanah longsor yang dapat dilihat pada Tabel 7.

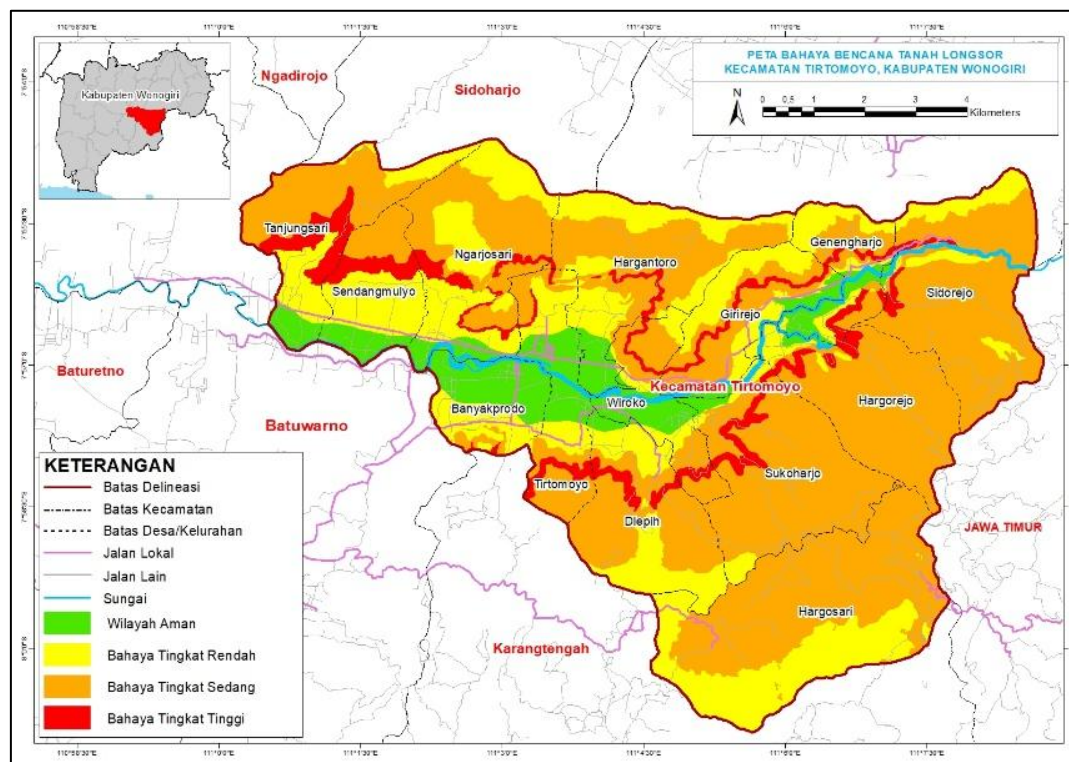
Tabel 4. Skoring dan pembobotan indikator bahaya tanah longsor.

Sub Variabel	Indikator	Kondisi Eksisting	Skor	Bobot	Skor x Bobot
Kemiringan lereng	Kemiringan lereng	<15 %	1	0,5	0,5
		15-40 %	2		1
		>40	3		1,5
Jenis Batuan	Jenis Batuan	Aluvial	1	0,15	0,15
		Vulkanik	3		0,45
Jenis Tanah	Jenis Tanah	Aluvial	1	0,15	0,15
		Latosol	1		0,15
Curah Hujan	Curah Hujan	>2000 mm/tahun	3	0,1	0,3
		Hutan, semak, padang rumput, dan sungai	1		0,1
Tutupan Lahan	Tutupan Lahan	Sawah, tegalan, dan perkebunan	2	0,1	0,2
		Permukiman dan kegiatan lainnya	3		0,3

Setelah proses *skoring* dan pembobotan pada setiap indikator telah dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan *spatial overlay*. Tahapan ini bertujuan untuk menggabungkan peta kemiringan lereng, jenis batuan, jenis tanah, curah hujan, dan tutupan lahan. Proses ini menghasilkan peta tingkat bahaya bencana tanah longsor yang diklasifikasikan menjadi tiga yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Berdasarkan hasil analisis *spatial overlay* yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa Kecamatan Tirtomoyo memiliki potensi bahaya tingkat rendah, sedang, dan tinggi sesuai pada Tabel 8 dan Gambar 1.

Tabel 8. Klasifikasi tingkat bahaya bencana tanah longsor.

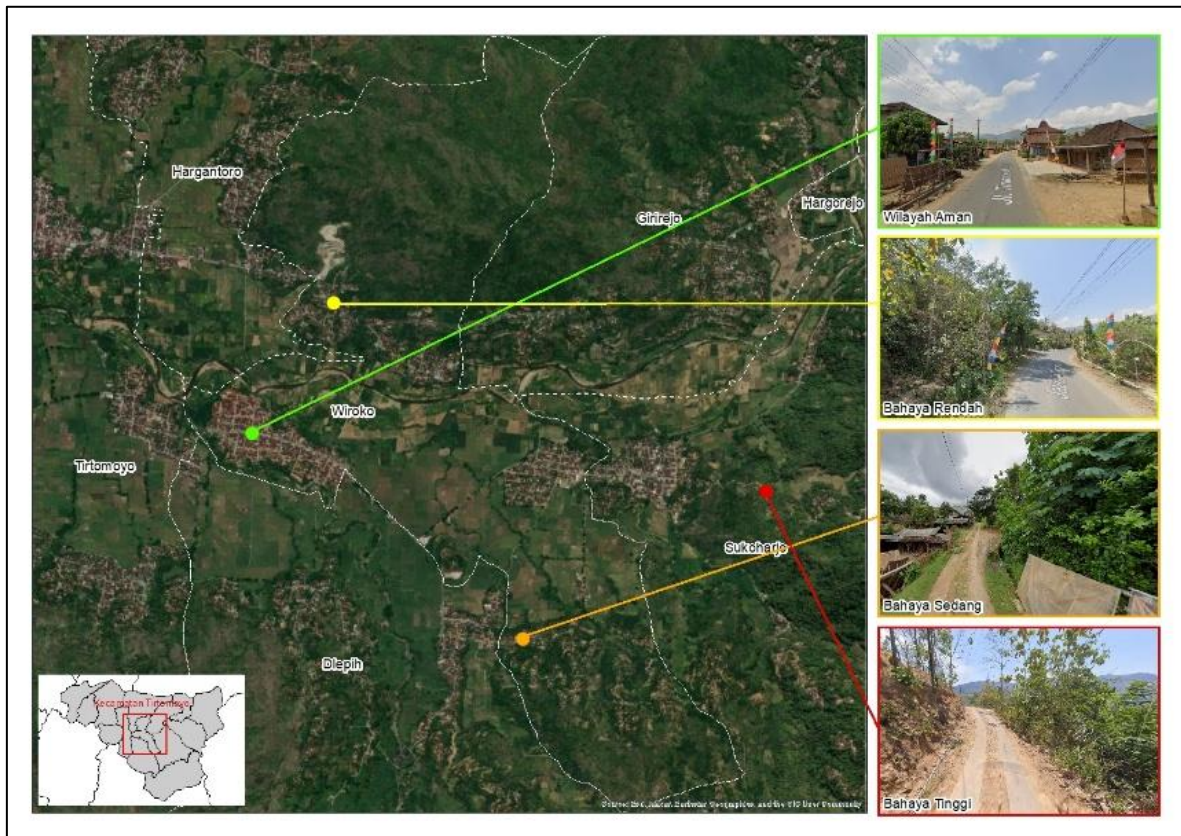
Tingkat Bahaya	Skor	Luas (Ha)	Persentase (%)
Aman	0	948	10%
Rendah	1	2.791	28%
Sedang	2	5.611	56%
Tinggi	3	596	6%



Gambar 1. Bahaya bencana tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo.

Berdasarkan peta bahaya bencana tanah longsor yang dapat dilihat pada Gambar 1, diketahui bahwa Kecamatan Tirtomoyo didominasi oleh potensi bahaya bencana tanah longsor tingkat sedang. Hal ini disebabkan oleh kondisi wilayahnya yang didominasi oleh kemiringan lereng landai hingga curam, sehingga kondisi tersebut menjadi faktor utama penyebab bahaya bencana tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo. Selain itu, adanya potensi bahaya tersebut

juga dipicu oleh curah hujan yang tinggi dan jenis batuan yang rentan terhadap potensi longsor. Oleh karena itu, Kecamatan Tirtomoyo didominasi oleh bahaya tingkat sedang dan terdapat 6% dari keseluruhan wilayah yang memiliki bahaya tingkat tinggi. Berikut merupakan peta bahaya yang didapatkan dari hasil analisis *spatial overlay*.



Gambar 2. Kondisi wilayah Kecamatan Tirtomoyo berdasarkan tingkat bahaya [21].

Kondisi eksisting Kecamatan Tirtomoyo berdasarkan tingkat bahaya bencana tanah longsor dapat dilihat pada Gambar 2 yang didapatkan dari hasil observasi dan pengamatan melalui *google earth*. Berdasarkan kondisi eksistingnya, diketahui bahwa wilayah yang aman dari potensi bahaya bencana tanah longsor memiliki kondisi wilayah dengan kemiringan lereng datar, wilayah dengan potensi bahaya tingkat rendah memiliki kemiringan lereng datar hingga landai, wilayah dengan potensi bahaya tingkat sedang memiliki kemiringan lereng landai hingga curam, serta wilayah dengan potensi bahaya tingkat tinggi memiliki kemiringan lereng yang sangat curam. Adapun wilayah yang memiliki potensi bahaya bencana tanah longsor tingkat tinggi umumnya berada di kemiringan lereng yang curam. Dengan demikian, kemiringan lereng merupakan faktor utama yang sangat mempengaruhi potensi bahaya bencana tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo.

3.2. Kerentanan bencana tanah longsor

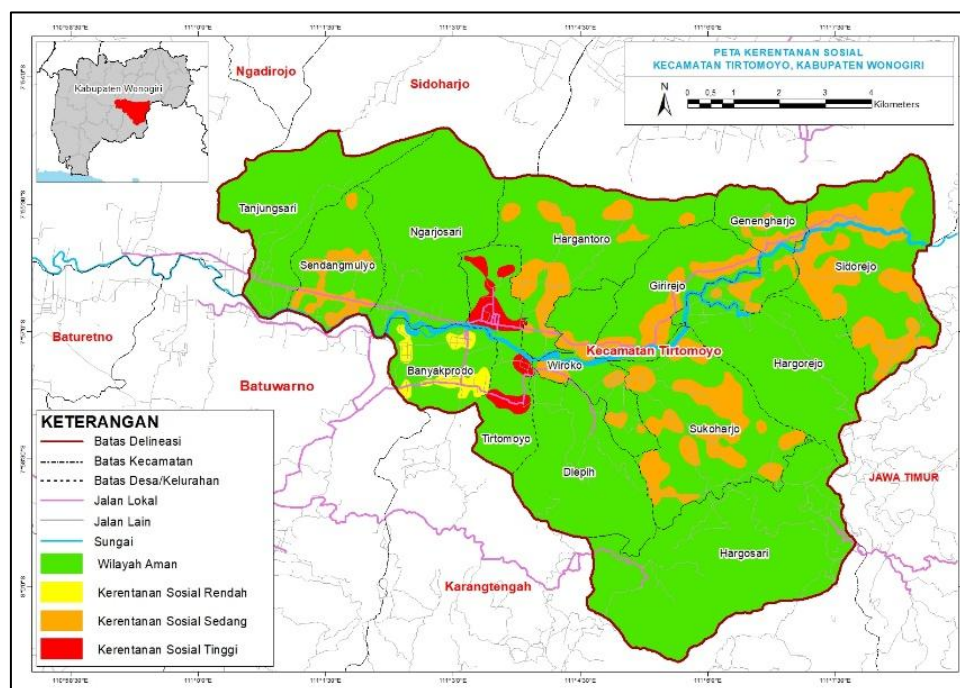
Kerentanan terhadap bencana tanah longsor dapat diukur dengan mengkaji kerentanan sosial, fisik, dan ekonomi. Adanya kerentanan sosial biasanya dipengaruhi oleh hal-hal yang berkaitan dengan kondisi kependudukan yang memiliki kerentanan terhadap dampak bencana seperti kepadatan penduduk dan rasio penduduk rentan. Penduduk rentan ini mencakup sekelompok masyarakat yang memiliki keterbatasan dalam meningkatkan kualitas hidupnya seperti penduduk rentan berdasarkan jenis kelamin, usia (<5 dan >60 tahun), penyandang disabilitas, serta masyarakat miskin. Kepadatan penduduk dan rasio penduduk rentan tersebut digunakan sebagai indikator dalam pengkajian kerentanan sosial, yang kemudian dilakukan proses *skoring* dan pembobotan untuk menentukan sejauh mana kedua indikator tersebut berpengaruh terhadap tingkat kerentanan sosial di Kecamatan Tirtomoyo. *Skoring* dan pembobotan tersebut didukung oleh data-data yang diperoleh dari Pemerintah Kecamatan Tirtomoyo yang dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. *Skoring* dan pembobotan kerentanan sosial.

No.	Desa/Kelurahan	Kepadatan Penduduk			Jenis Kelamin			Usia Rentan			Penduduk Difabel			Penduduk Miskin		
		Jumlah	S	B	Rasio	S	B	Rasio	S	B	Rasio	S	B	Rasio	S	B
1.	Hargosari	341	1	0,6	101,04	3	0,1	26,03	2	0,1	0,70	1	0,1	44,22	3	0,1
2.	Dlepih	495	1	0,6	102,91	3	0,1	26,31	2	0,1	1,43	1	0,1	63,63	3	0,1
3.	Wiroko	760	2	0,6	102,97	3	0,1	26,91	2	0,1	1,33	1	0,1	52,26	3	0,1
4.	Sukoharjo	592	2	0,6	100,81	3	0,1	24,79	2	0,1	0,84	1	0,1	42,40	3	0,1
5.	Hargorejo	441	1	0,6	102,17	3	0,1	27,38	2	0,1	0,89	1	0,1	42,52	3	0,1
6.	Sidorejo	627	2	0,6	101,00	3	0,1	23,37	2	0,1	1,00	1	0,1	40,29	3	0,1
7.	Genengharjo	686	2	0,6	107,79	3	0,1	25,66	2	0,1	0,63	1	0,1	62,10	3	0,1
8.	Girirejo	564	2	0,6	103,46	3	0,1	26,53	2	0,1	0,73	1	0,1	62,66	3	0,1
9.	Hargantoro	610	2	0,6	103,19	3	0,1	23,89	2	0,1	0,89	1	0,1	28,83	2	0,1
10.	Tirtomoyo	1.103	3	0,6	102,92	3	0,1	24,27	2	0,1	0,89	1	0,1	51,98	3	0,1
11.	Banyakprodo	945	2	0,6	101,71	3	0,1	28,49	2	0,1	0,65	1	0,1	24,73	2	0,1
12.	Ngarjosari	438	1	0,6	97,51	3	0,1	25,05	2	0,1	0,96	1	0,1	59,67	3	0,1
13.	Sendangmulyo	704	2	0,6	103,46	3	0,1	25,44	2	0,1	0,69	1	0,1	52,26	3	0,1
14.	Tanjungsari	353	1	0,6	100,00	3	0,1	22,68	2	0,1	0,80	1	0,1	43,42	3	0,1

Keterangan: S = Skor; B = Bobot

Setelah dilakukan proses *skoring* dan pembobotan kemudian dilakukan *spatial overlay* untuk menggabungkan data-data rasio jenis kelamin, usia rentan, penduduk difabel, dan penduduk miskin yang menghasilkan peta rasio penduduk rentan. Kemudian, dilakukan kembali *spatial overlay* untuk menggabungkan peta kepadatan penduduk dengan rasio penduduk rentan.



Gambar 3. Kerentanan sosial di Kecamatan Tirtomoyo.

Berdasarkan hasil analisis *spatial overlay* yang dapat dilihat pada Gambar 3, menunjukkan bahwa terdapat 9 desa/kelurahan yang wilayahnya memiliki kerentanan sosial. Kerentanan sosial di kecamatan Tirtomoyo ini didominasi oleh kerentanan sosial tingkat sedang. Selain itu, terdapat satu kelurahan yaitu Kelurahan Tirtomoyo yang memiliki kerentanan sosial tingkat tinggi. Hal ini disebabkan oleh kepadatan penduduknya yang lebih tinggi daripada desa/kelurahan lainnya sehingga menjadikan wilayahnya lebih rentan terhadap kerentanan sosial.

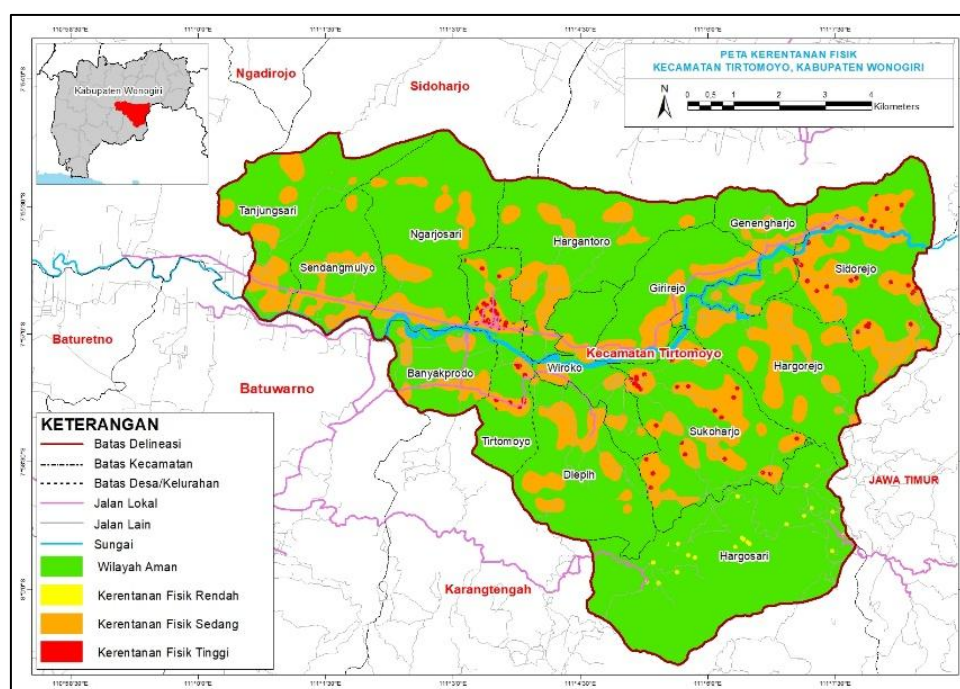
Terkait kerentanan fisik di Kecamatan Tirtomoyo, dapat diukur dengan mengkaji dua indikator. Indikator tersebut diantaranya yaitu kepadatan bangunan serta jumlah fasilitas umum dan fasilitas kritis. Fasilitas umum yang dimaksud yaitu fasilitas pendidikan (TK, SD, SMP, SMA), peribadatan (masjid, mushola, gereja), dan perkantoran (balai dan kantor pemerintah). Sementara itu, fasilitas kritis diantaranya yaitu posyandu, pos kesehatan desa, praktik mandiri, dan puskesmas. Untuk mengetahui pengaruh kepadatan penduduk dan jumlah fasilitas umum dan kritis terhadap kerentanan fisik, maka dilakukan *skoring* dan pembobotan pada data kepadatan bangunan dan fasilitas yang didapat dari hasil observasi dan pengamatan melalui google earth yang dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Skoring dan pembobotan kerentanan fisik.

No.	Desa/Kelurahan	Kepadatan Bangunan			Fasilitas Umum dan Kritis		
		Jumlah	Skor	Bobot	Jumlah	Skor	Bobot
1.	Hargosari	255	2	0,7	23	1	0,3

No.	Desa/Kelurahan	Kepadatan Bangunan			Fasilitas Umum dan Kritis		
		Jumlah	Skor	Bobot	Jumlah	Skor	Bobot
2.	Dlepih	346	3	0,7	16	1	0,3
3.	Wiroko	584	3	0,7	20	1	0,3
4.	Sukoharjo	364	3	0,7	32	2	0,3
5.	Hargorejo	306	3	0,7	16	1	0,3
6.	Sidorejo	311	3	0,7	40	2	0,3
7.	Genengharjo	443	3	0,7	12	1	0,3
8.	Girirejo	403	3	0,7	16	1	0,3
9.	Hargantoro	408	3	0,7	25	1	0,3
10.	Tirtomoyo	793	3	0,7	55	2	0,3
11.	Banyakprodo	680	3	0,7	12	1	0,3
12.	Ngarjosari	320	3	0,7	16	1	0,3
13.	Sendangmulyo	575	3	0,7	16	1	0,3
14.	Tanjungsari	325	3	0,7	20	1	0,3

Selanjutnya dilakukan *spatial overlay* berdasarkan masing-masing indikator yaitu kepadatan bangunan serta fasilitas umum dan kritis. Langkah ini dilakukan untuk menggabungkan antara peta kepadatan bangunan dan peta sebaran fasilitas umum dan kritis sehingga akan menghasilkan sebuah peta baru yaitu peta kerentanan fisik seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Kerentanan fisik di Kecamatan Tirtomoyo.

Berdasarkan hasil analisis *spatial overlay* yang telah dilakukan, diketahui bahwa secara keseluruhan desa/kelurahan yang ada di Kecamatan Tirtomoyo memiliki bagian wilayah

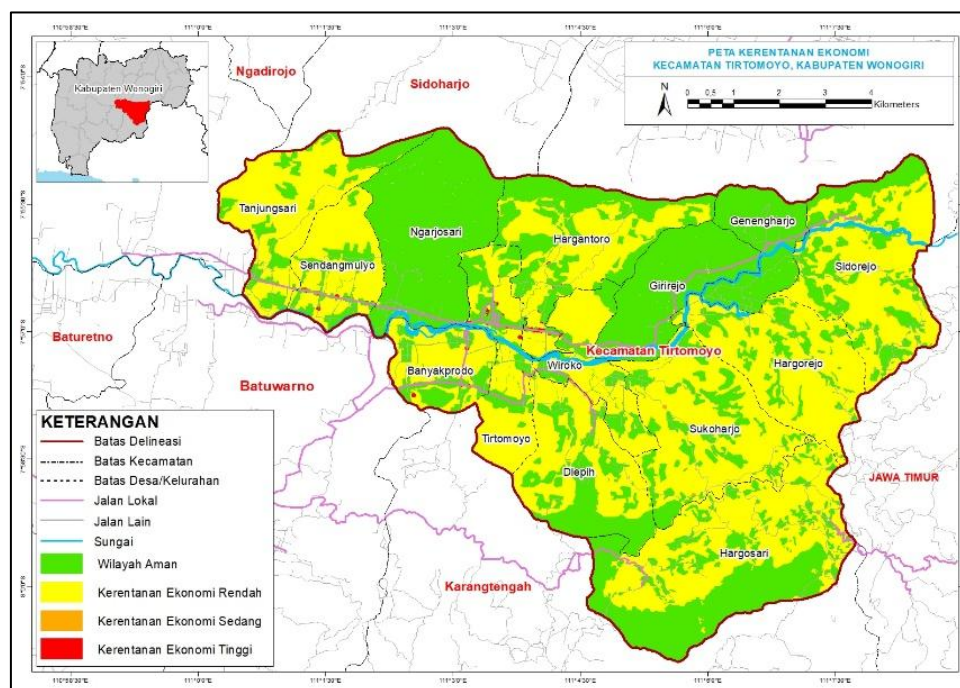
dengan potensi kerentanan fisik yang didominasi oleh kerentanan fisik tingkat sedang. Untuk kerentanan fisik tingkat tinggi tersebar di 3 desa/kelurahan yaitu Desa Sidorejo, Sukoharjo, dan Kelurahan Tirtomoyo. Tingginya kerentanan fisik tersebut disebabkan oleh tingginya kepadatan bangunan serta banyaknya jumlah fasilitas umum dan kritis yang ada di wilayah tersebut.

Terkait kerentanan ekonomi, dapat diukur melalui persentase luas lahan produktif dan jumlah sarana ekonomi yang tersedia di wilayah. Hal ini dikarenakan keberadaan lahan produktif dan sarana ekonomi sangat penting karena berperan sebagai sumber penghasilan bagi masyarakat setempat. Lahan produktif tersebut diantaranya meliputi lahan sawah, ladang, dan perkebunan, sedangkan sarana ekonomi yang dimaksud yaitu toko, warung makan, pasar, dan bank. Untuk mengetahui pengaruh dari dua indikator tersebut maka dilakukan skoring dan pembobotan pada data luas lahan produktif dan sarana ekonomi yang diperoleh dari Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman dan Pertanahan Kabupaten Wonogiri serta hasil observasi yang dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Skoring dan pembobotan kerentanan ekonomi.

No.	Desa/Kelurahan	Lahan Produktif			Sarana Ekonomi		
		Persentase	Skor	Bobot	Jumlah	Skor	Bobot
1.	Hargosari	52	3	0,6	7	1	0,4
2.	Dlepih	56	3	0,6	7	1	0,4
3.	Wiroko	69	3	0,6	13	1	0,4
4.	Sukoharjo	72	3	0,6	9	1	0,4
5.	Hargorejo	80	3	0,6	7	1	0,4
6.	Sidorejo	66	3	0,6	10	1	0,4
7.	Genengharjo	48	2	0,6	8	1	0,4
8.	Girirejo	50	2	0,6	8	1	0,4
9.	Hargantoro	51	3	0,6	27	2	0,4
10.	Tirtomoyo	66	3	0,6	131	3	0,4
11.	Banyakprodo	63	3	0,6	20	2	0,4
12.	Ngarjosari	47	2	0,6	31	2	0,4
13.	Sendangmulyo	75	3	0,6	17	2	0,4
14.	Tanjungsari	73	3	0,6	7	1	0,4

Dari tahap *skoring* dan pembobotan tersebut, selanjutnya dilakukan *spatial overlay* dengan menggabungkan peta lahan produktif dengan sebaran sarana ekonomi. Hasil dari analisis *spatial overlay* pada kedua peta tersebut menghasilkan sebuah peta baru yaitu peta kerentanan ekonomi dapat dilihat pada Gambar 5.



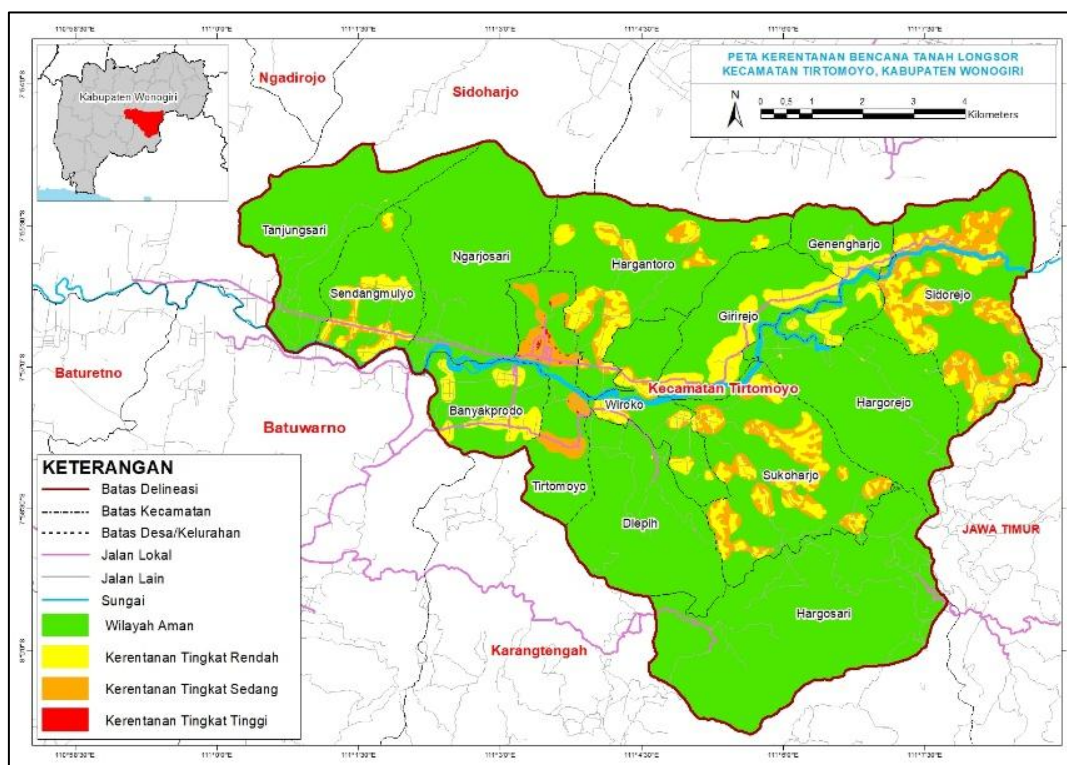
Gambar 5. Kerentanan ekonomi di Kecamatan Tirtomoyo.

Berdasarkan hasil analisis *spatial overlay* yang telah dilakukan, diketahui bahwa Kecamatan Tirtomoyo didominasi oleh kerentanan ekonomi tingkat rendah dan terdapat 4 desa/kelurahan yang memiliki bagian wilayah dengan kerentanan ekonomi tingkat tinggi yaitu Desa Sendangmulyo, Hargantoro, Banyakprodo, dan Kelurahan Tirtomoyo. Hal ini disebabkan oleh tingginya persentase lahan produktif dan banyaknya jumlah sarana ekonomi di keempat bagian wilayah tersebut sehingga menyebabkan kerentanan ekonomi yang lebih tinggi daripada wilayah lainnya.

Setelah melakukan analisis pada masing-masing kerentanan, selanjutnya dilakukan *skoring* dan pembobotan sesuai pada Tabel 3. Kemudian dilanjutkan dengan *spatial overlay* untuk menggabungkan peta kerentanan sosial, fisik, dan ekonomi. Penggabungan ketiga kerentanan tersebut menghasilkan tingkat kerentanan bencana tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo yang dikategorikan menjadi kerentanan tingkat rendah, sedang, dan tinggi. Berikut merupakan hasil dari analisis *spatial overlay* yang dapat dilihat pada Tabel 12 dan Gambar 6.

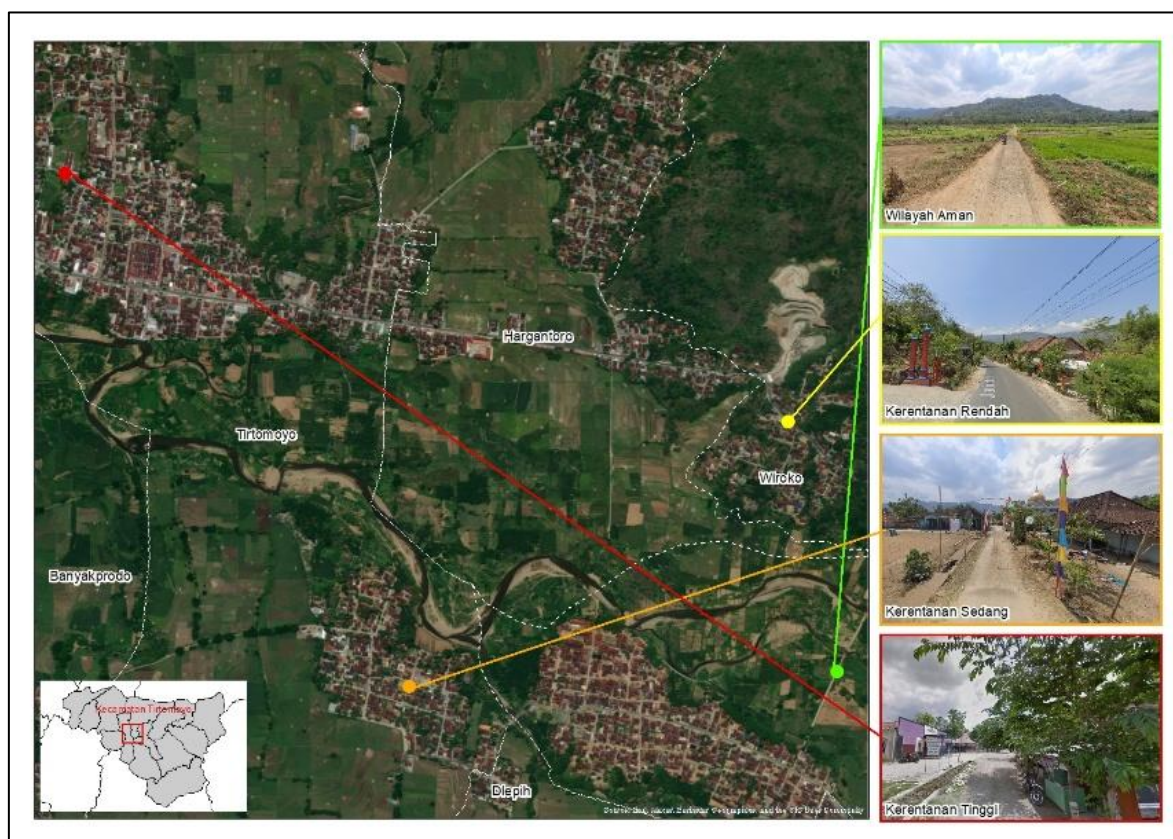
Tabel 12. Klasifikasi tingkat kerentanan bencana tanah longsor.

Tingkat Kerentanan	Skor	Luas (Ha)	Persentase (%)
Aman	0	8.243	82,88%
Rendah	1	1.018	10,24%
Sedang	2	681	6,85%
Tinggi	3	4	0,04%



Gambar 6. Kerentanan bencana tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo.

Berdasarkan peta kerentanan yang didapatkan dari analisis *spatial overlay*, diketahui bahwa hanya sebagian wilayah Kecamatan Tirtomoyo yang memiliki kerentanan terhadap bencana tanah longsor. Hal ini dikarenakan masih terdapat lahan yang belum dilakukan pembangunan, sehingga luas wilayah yang memiliki kerentanan terhadap bencana tanah longsor hanya memiliki luas sekitar 1.703 Ha. Kerentanan di Kecamatan Tirtomoyo ini didominasi oleh kerentanan tingkat rendah dan terdapat bagian wilayah yang memiliki kerentanan tinggi yaitu di Kelurahan Tirtomoyo. Kondisi ini terjadi karena Kelurahan Tirtomoyo merupakan pusat kegiatan, sehingga terdapat banyak bangunan, fasilitas, dan penduduk yang bermukim di kelurahan ini. Adanya kerentanan fisik tingkat tinggi ini perlu diwaspadai, karena jika terjadi bencana tanah longsor di Kelurahan Tirtomoyo maka akan berpotensi mengalami kerugian yang cukup besar daripada wilayah lain akibat tingginya kepadatan penduduk dan infrastruktur di wilayah tersebut.



Gambar 7. Kondisi wilayah Kecamatan Tirtomoyo berdasarkan tingkat kerentanan [21].

Kondisi wilayah berdasarkan tingkat kerentanan di atas didapatkan melalui observasi lapangan dan pengamatan melalui *google earth*. Berdasarkan Gambar 7, diketahui bahwa wilayah yang tidak rentan terhadap bencana merupakan wilayah yang memiliki aktivitas masyarakat yang rendah. Sementara itu wilayah yang memiliki kerentanan terhadap bencana tanah longsor memiliki aktivitas masyarakat yang sedang hingga tinggi sehingga di wilayah tersebut terdapat bangunan rumah, fasilitas pendukung, dan lahan produktif yang keberadaannya sangat penting bagi kehidupan masyarakat. Sehingga, semakin tinggi aktivitas masyarakat di suatu wilayah maka semakin tinggi pula tingkat kerentanan terhadap bencana.

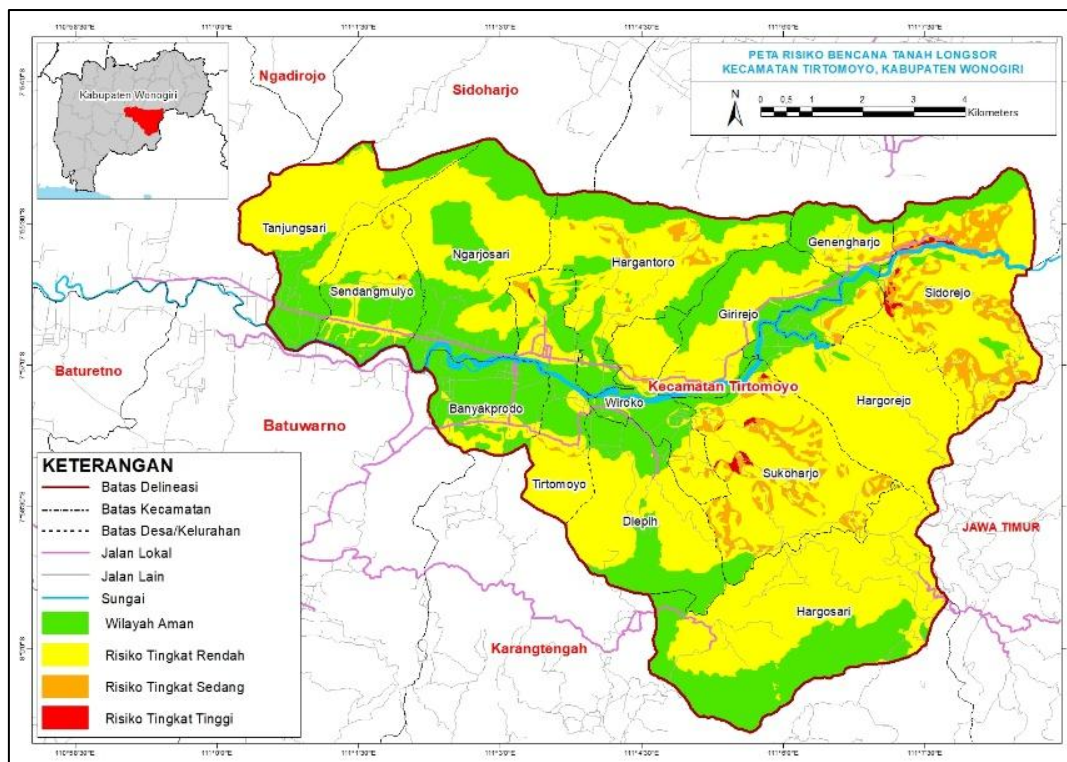
3.3. Risiko bencana tanah longsor

Pengkajian terhadap risiko bencana tanah longsor ini dilakukan dengan menggabungkan hasil analisis pada variabel bahaya dengan variabel kerentanan melalui *spatial overlay*. Hasil dari analisis *spatial overlay* tersebut dapat dilihat pada Tabel 13 dan Gambar 8.

Tabel 13. Klasifikasi tingkat risiko bencana tanah longsor.

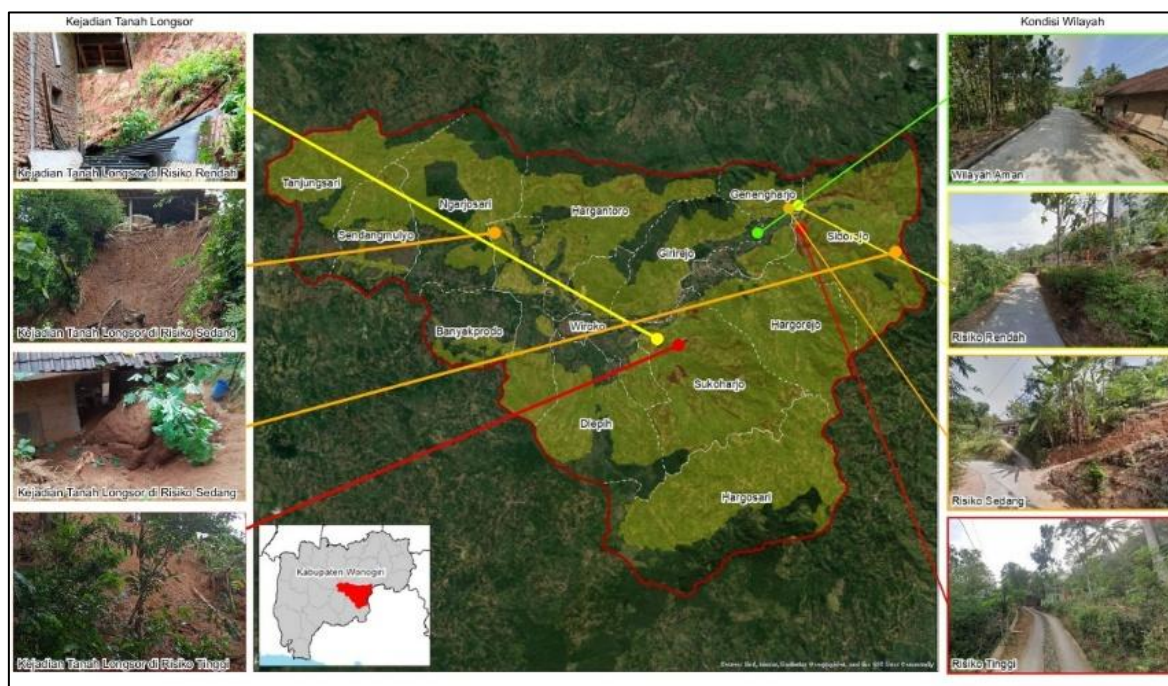
Tingkat Risiko	Luas (Ha)	Persentase (%)
Aman	3.260	32,8%
Rendah	6.170	62%

Tingkat Risiko	Luas (Ha)	Persentase (%)
Sedang	488	4,9%
Tinggi	28	0,3%



Gambar 8. Risiko bencana tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo.

Berdasarkan hasil analisis *spatial overlay* yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa Kecamatan Tirtomoyo memiliki potensi risiko terhadap bencana tanah longsor seluas 6.687 Ha. Tingkatan risiko ini merupakan hasil interaksi antara tingkat bahaya dan kerentanan yang saling berbanding lurus di mana semakin tinggi tingkat bahaya dan kerentanan di suatu wilayah maka risiko yang dihasilkan juga semakin tinggi. Timbulnya potensi risiko tersebut tentunya disebabkan oleh karakteristik wilayah Kecamatan Tirtomoyo yang beragam baik dipengaruhi oleh faktor bahaya maupun kerentanan. Faktor-faktor tersebut dapat meliputi kemiringan lereng yang landai hingga curam, jenis batuan yang rentan terhadap longsor, curah hujan yang tinggi, serta aktivitas masyarakat terutama yang bermukim di sekitar lereng yang dapat mengganggu kestabilan tanah sehingga memungkinkan adanya peningkatan risiko bencana tanah longsor.



Gambar 9. Kejadian tanah longsor dan kondisi wilayah Kecamatan Tirtomoyo berdasarkan tingkat risiko [21].

Berdasarkan data dan dokumentasi mengenai kejadian bencana tanah longsor pada tahun 2024 yang didapatkan dari Pemerintah Kecamatan Tirtomoyo, diketahui bahwa bencana tanah longsor terjadi di wilayah yang memiliki risiko terhadap bencana tanah longsor yang dapat dilihat pada Gambar 9. Kondisi wilayah berdasarkan tingkat risikonya yang bersumber dari hasil observasi dan pengamatan pada *google earth* juga dapat dilihat pada Gambar 9. Berdasarkan kondisi wilayahnya diketahui bahwa wilayah yang berisiko terhadap bencana tanah longsor adalah wilayah yang memiliki kemiringan lereng yang tinggi dan adanya aktivitas masyarakat di sekitar lereng. Hal ini disebabkan karena aktivitas masyarakat di sekitar lereng dapat berpotensi mengganggu kestabilan tanah. Jika gangguan kestabilan tanah tersebut terjadi di wilayah dengan kemiringan lereng yang tinggi dan memiliki jenis batuan yang rentan terhadap longsor, maka kemungkinan terjadinya bencana tanah longsor akan semakin meningkat.

4. Kesimpulan

Kecamatan Tirtomoyo diketahui memiliki potensi risiko terhadap bencana tanah longsor yang diklasifikasikan menjadi tiga kategori yaitu tingkat rendah, sedang, dan tinggi. Pengkajian risiko bencana tanah longsor ini diperoleh dari hasil kajian bahaya dan kerentanan bencana tanah longsor. Dalam melakukan pengkajian tersebut digunakan teknik analisis *skoring* dan pembobotan serta *spatial overlay* pada masing-masing indikator. Pada variabel bahaya dilakukan *spatial overlay* pada indikator bahaya yang meliputi kemiringan lereng, jenis batuan, jenis tanah, curah hujan, dan tutupan lahan. Pengkajian bahaya bencana tanah longsor tersebut diketahui bahwa 90% dari luas keseluruhan Kecamatan Tirtomoyo memiliki potensi

bahaya yang didominasi oleh bahaya tingkat sedang dan sisanya merupakan tingkat rendah dan tinggi.

Sementara itu, pengkajian terhadap kerentanan bencana tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo dilakukan dengan pengkajian terhadap kerentanan sosial, fisik, dan ekonomi. Kerentanan sosial tersebut berkaitan dengan kepadatan penduduk dan rasio penduduk rentan, sedangkan kerentanan fisik berkaitan dengan kepadatan bangunan dan jumlah fasilitas umum dan kritis, serta kerentanan ekonomi berkaitan dengan persentase lahan produktif dan jumlah sarana ekonomi. Dari hasil pengkajian kerentanan, diketahui bahwa 17% dari luas keseluruhan Kecamatan Tirtomoyo memiliki kerentanan terhadap bencana tanah longsor yang terbagi menjadi tiga kategori yaitu tingkat rendah, sedang, dan tinggi.

Hasil pengkajian terhadap bahaya dan kerentanan bencana tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo, kemudian digunakan sebagai dasar pengkajian terhadap risiko bencana tanah longsor. Berdasarkan hasil pengkajian risiko, Kecamatan Tirtomoyo memiliki potensi risiko terhadap bencana tanah longsor. Dari keseluruhan wilayahnya, 67% diantaranya memiliki risiko bencana tanah longsor dengan dominasi risiko tingkat rendah dan sisanya merupakan risiko tingkat sedang dan tinggi. Kondisi ini mencerminkan bahwa wilayah Kecamatan Tirtomoyo memiliki karakteristik yang dapat menimbulkan risiko bencana tanah longsor baik dipengaruhi oleh faktor bahaya maupun faktor kerentanan. Dengan demikian, semua faktor pemicu yang dapat dikontrol dan berpotensi meningkatkan risiko harus diminimalkan dengan tujuan untuk menurunkan potensi risiko terjadinya bencana tanah longsor di Kecamatan Tirtomoyo.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada seluruh jajaran instansi pemerintahan di wilayah penelitian khususnya Pemerintah Kecamatan Tirtomoyo, Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan permukiman dan Pertanahan Kabupaten Wonogiri, serta Pemerintah Kabupaten Wonogiri atas kesediaannya memberikan kontribusi berupa data maupun informasi yang sangat membantu dalam penyusunan penelitian ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.

Referensi

- [1] Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Data Informasi Bencana Indonesia 2025. <https://dibi.bnpb.go.id/> (accessed December 13, 2025).
- [2] Hadimulyono S. Mitigasi Bencana. 1st ed. Bandung: LEKKAS; 2019.
- [3] Goenadi S, Sartohadi J, Hardiyatmo HC, Hadmoko DS, Giyarsih SR. Konservasi Lahan Terpadu Daerah Rawan Bencana Longsoran di Kabupaten Kulon Progo Daerah Istimewa Yogyakarta. Laporan Penelitian 2003.
- [4] Praditia MD. Tirtomoyo Paling Rawan Longsor di Wonogiri, Ada 52 Kejadian Sepanjang 2024. Solopos 2025.
- [5] Munandar MA. Longsor di Hutan Tunggang Wonogiri Putus Akses Tirtomoyo-Jatiroto. DetikCom 2023.

- [6] Wiguna SA, Amri MohdR, Ichwana AN, Yulianti G, Randongkir RE, Yunus R, et al. Risiko Bencana Indonesia. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana; 2016.
- [7] Nurjanah, Sugiharto R, Kuswanda D, BP S, Adikoesoemo. Manajemen Bencana. Bandung: Alfabeta; 2013.
- [8] Arsyad U, Barkey RA, Wahyuni W, Matandung KK. Karakteristik Tanah Longsor di Daerah Aliran Sungai Tangka. *Jurnal Hutan Dan Masyarakat* 2018;203. <https://doi.org/10.24259/jhm.v0i0.3978>.
- [9] Mantika NJ, Hidayati SR, Fathurrohman S. Identifikasi Tingkat Kerawanan Bencana di Kabupaten Gunungkidul. *Mantra: Jurnal Mahasiswa Teknik Perencanaan Wilayah Dan Kota* 2020;1:59–70.
- [10] Rosaliana R, Bahar H, Yuwanto SH. Kajian Bahaya, Risiko, dan Mitigasi Bencana Gerakan Tanah di Daerah Sendangrejo dan Sekitarnya, Kecamatan Sambeng, Kabupaten Lamongan, Provinsi Jawa Timur. *Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan (SEMITAN)*, vol. 2, 2020, p. 657–63.
- [11] Winaryo. Penyusunan Profil (Hazard, Vulnerability, Risk) Pemetaan Wilayah Rawan Bencana dan Penyusunan Rencana Aksi 2007.
- [12] Faizana F, Nugraha AL, Yuwono BD. Pemetaan Risiko Bencana Tanah Longsor Kota Semarang. *Jurnal Geodesi Undip* 2015;4:223–34.
- [13] Ajie WAYB. Mitigasi Bencana Longsor Lahan di Kecamatan Tirtomoyo Kabupaten Wonogiri. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2023.
- [14] Aprian UZT. Mikrozonasi Kerentanan Tanah Longsor Berdasarkan Metode Mikroseismik dan Analisa Geomorfologi di Kecamatan Tirtomoyo Kabupaten Wonogiri. Universitas Gadjah Mada, 2024.
- [15] Noor D. Pengantar Mitigasi Bencana Geologi. Yogyakarta: Deepublish; 2014.
- [16] Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat (PUSLITANAK). Laporan Akhir Pengkajian Potensi Bencana Kekeringan, Banjir dan Longsor di Kawasan Satuan Wilayah Sungai Citarum-Ciliwung, Jawa Barat Bagian Barat Berbasis Sistem Informasi Geografis. 2004.
- [17] Paimin, Sukresno, Pramono IB. Teknik Mitigasi Banjir dan Tanah Longsor. Balikpapan: Tropenbos International Indonesia Programme; 2009.
- [18] Naryanto HS, Zahro Q. Penilaian Risiko Bencana Longsor di Wilayah Kabupaten Serang. *Majalah Geografi Indonesia* 2020;34:1. <https://doi.org/10.22146/mgi.38674>.
- [19] Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana 2012.
- [20] W. Hastanti B, Miardini A. Penilaian Indeks Kerentanan Sebagai Upaya Pengurangan Risiko Longsor di Kecamatan Banjarnangu Kabupaten Banjarnegara Jawa Tengah. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai* 2021;5:155–70. <https://doi.org/10.20886/jppdas.2021.5.2.155-170>.

- [21] Google Earth. Street View of Kecamatan Tirtomoyo, Kabupaten Wonogiri. EarthGoogleCom 2025. <https://earth.google.com/web> (accessed December 15, 2025).