

Analisis Zona Rawan Bencana Tanah Longsor Menggunakan Pendekatan *Fuzzy Analytical Hierarchy Proses* (FAHP). Studi Kasus Daerah Barangin dan Sekitarnya, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat.

Devyanto Kurniawan¹, Budhi Setiawan^{2*}

^{1,2} Program Studi Teknik Geologi, Universitas Sriwijaya, Palembang, Indonesia.

DOI: <https://doi.org/10.29303/geoscienceed.v6i4.1191>

Article Info

Received: 24 Juni 2025

Revised: 09 November 2025

Accepted: 18 November 2025

Correspondence:

Phone:

Abstrak: Bencana tanah longsor merupakan bencana alam dengan dampak yang signifikan bagi keselamatan masyarakat dan keberlanjutan lingkungan, khususnya di wilayah dengan kondisi topografi curam seperti Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. Penelitian ini bertujuan memetakan zona rawan longsor dengan pendekatan *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP), yang mampu menangani ketidakpastian secara objektif. Empat kriteria utama dianalisis dengan masing-masing bobot akhirnya yaitu kemiringan lereng (27,86%), curah hujan (27,86%), jenis tanah (22,59%), dan tutupan lahan (21,70%). Setiap kriteria diberi bobot menggunakan pendekatan FAHP menghasilkan bobot relatif: kemiringan lereng 27,86%, curah hujan 27,86%, jenis tanah 22,59% dan tutupan lahan 21,70%. Peta tematik dari tiap kriteria diintegrasikan dengan teknik *weighted overlay* menggunakan ArcGIS untuk menghasilkan peta zonasi kerawanan longsor. Hasilnya pemetaan menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah termasuk zona kerawanan sedang, sementara zona tinggi terkonsentrasi di area lereng curam dan curah hujan tinggi.

Kata Kunci: Bencana, Tanah longsor, FAHP, *Weighted overlay*

Citation: Kurniawan, D., Setiawan, B. (2025). Analisis Zona Rawan Bencana Tanah Longsor Menggunakan Pendekatan *Fuzzy Analytical Hierarchy Proses* (FAHP). Studi Kasus Daerah Barangin dan Sekitarnya, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 6(4), 1976-1986. doi: <https://doi.org/10.29303/geoscienceed.v6i4.1191>

Pendahuluan

Tanah longsor termasuk salah satu bencana alam dengan resiko bahaya tinggi, terutama di wilayah yang memiliki kondisi topografi curam (Saygin & Yasemin, 2023). Di Indonesia, bencana ini sering terjadi akibat kondisi alami seperti tingginya curah hujan, faktor kemiringan lereng serta jenis tanah (Akbar et al., 2022). Peristiwa tanah longsor kerap terjadi di wilayah Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat, sebagai salah satu bentuk bencana alam yang umum dijumpai. Menurut data BPBD Sumatera Barat tahun 2022, kota Sawahlunto menempati posisi kedua tertinggi sebagai daerah

dengan potensi rawan bencana tanah longsor di wilayah Sumatera Barat. Tanah longsor yang terjadi tidak hanya berdampak pada kerusakan fasilitas umum dan lingkungan, tetapi juga menimbulkan risiko keselamatan bagi masyarakat yang bermukim di kawasan rawan. Oleh karena itu, penerapan strategi mitigasi yang bersifat tidak hanya tanggap darurat, tetapi juga antisipatif, menjadi penting guna meminimalkan potensi kerugian di masa mendatang (Idrus & Umar, 2024).

Salah satu upaya preventif yang penting dilakukan adalah pemetaan zona rawan tanah longsor.

Email: budhi.setiawan@unsri.ac.id

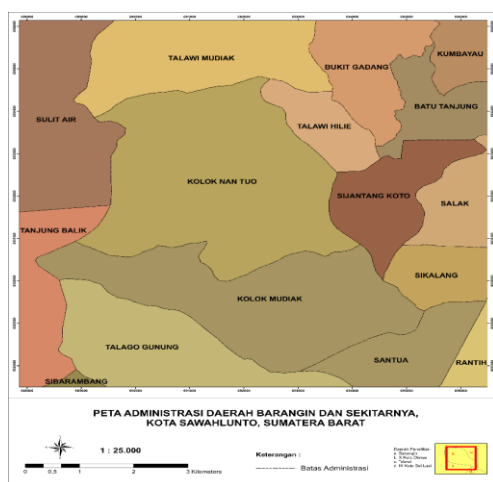
Pemetaan ini bertujuan untuk mengklasifikasikan wilayah ke dalam zona kerawanan rendah, sedang, atau tinggi berdasarkan parameter fisik dan lingkungan (Aminudin & , Arwan Putra Wijaya, 2023). Pendekatan *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) banyak diterapkan dalam analisis multikriteria karena dapat mempertimbangkan interaksi berbagai faktor, seperti kemiringan lereng, tingkat curah hujan, jenis penggunaan lahan, klasifikasi tanah, serta kondisi geologi secara keseluruhan (Calvin et al., 2024).

Kendati demikian, penilaian antar parameter sering kali bersifat subjektif. Oleh karena itu, pendekatan *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP) menjadi solusi alternatif karena mampu menangani ketidakpastian dan ambiguitas dalam penilaian ahli melalui penggunaan nilai segitiga *fuzzy* (TFN). Pendekatan *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP) dapat mengubah data kualitatif menjadi kuantitatif sehingga mendukung proses pemetaan berbasis data yang lebih akurat dan aplikatif (Septian et al., 2023).

Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan untuk mengklasifikasikan zona potensi kerawanan tanah longsor di daerah Barangin dan sekitarnya, Kota Sawahlunto, melalui penerapan pendekatan *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP) berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Selain menghasilkan peta zonasi kerawanan, penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi parameter paling dominan yang memengaruhi tingkat kerawanan tanah longsor, sehingga dapat menjadi dasar pertimbangan dalam penentuan strategi mitigasi bencana yang lebih tepat sasaran dan berbasis risiko.

Metode

Lokasi, Lokasi penelitian berada di wilayah Barangin dan sekitarnya, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat, dengan luas area penelitian 81 km².

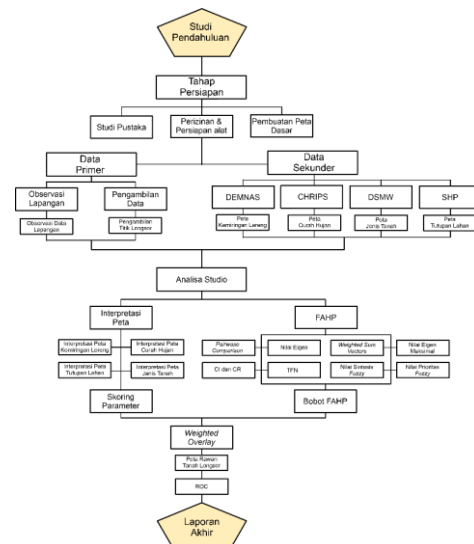


Gambar 1. Peta administrasi daerah penelitian

Studi ini menerapkan metode pengumpulan data melalui pendekatan langsung maupun tidak langsung. Teknik pengumpulan data langsung dilakukan melalui aktivitas pemetaan geologi, yaitu meninjau secara langsung daerah penelitian dengan memperhatikan aspek geologi yang ada. Sementara itu, pengumpulan data tidak langsung dilakukan dengan pembuatan peta pendukung menggunakan *software ArcGIS* serta pengolahan serta perhitungan data menggunakan *microsoft excel* dan SPSS.

Studi ini mengimplementasikan teknik pengolahan data yang sistematis guna menghasilkan pemetaan zona rawan bencana tanah longsor yang akurat. Hal ini meliputi analisis data deskriptif, analisis kuantitatif berbasis multikriteria, analisis data spasial. Tahap pertama adalah analisis deskriptif

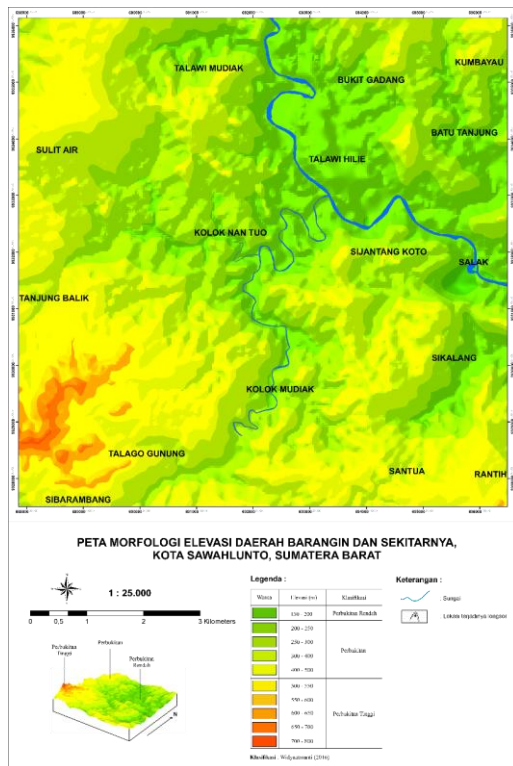
melalui pemetaan geologi dan deskripsi kondisi lapangan serta pengambilan data berupa data titik longsor yang terdapat pada lokasi penelitian. Selanjutnya dilakukan analisis data spasial awal, yaitu dengan membuat peta-peta kriteria seperti peta kemiringan lereng, curah hujan, tutupan lahan, dan jenis tanah, yang ditujukan sebagai data acuan awal sebelum dilakukan analisa kuantitatif berbasis multikriteria. Selanjutnya dilakukan analisis kuantitatif berbasis multikriteria yaitu pendekatan *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP). Pendekatan ini meliputi perbandingan matriks berpasangan (*pairwise comparison*) hingga nantinya dilanjutkan dengan penentuan nilai *triangular fuzzy number* (TFN) dan diperoleh bobot relatif dari setiap kriteria penyebab longsor. Dan terakhir dilakukan analisis data spasial lanjutan yaitu dengan teknik *weighted overlay* menggunakan *tools intersec* untuk mengintegrasikan berbagai peta tematik ke dalam satu kerangka spasial hingga diperoleh peta zona rawan bencana tanah longsor.



Gambar 2. Tahapan penelitian

Hasil dan Pembahasan Morfologi daerah penelitian

Morfografi merupakan cabang dari kajian geomorfologi yang fokus pada aspek deskriptif terkait bentuk permukaan bumi di daerah penelitian. Berdasarkan peta morfologi elevasi, daerah penelitian terdiri dari morfografi perbukitan rendah dengan elevasi sekitar 150 hingga 200 meter, perbukitan dengan elevasi sekitar 200 hingga 500 meter dan perbukitan tinggi dengan elevasi 500 hingga 1000 meter (Widyatmanti et al., 2016).

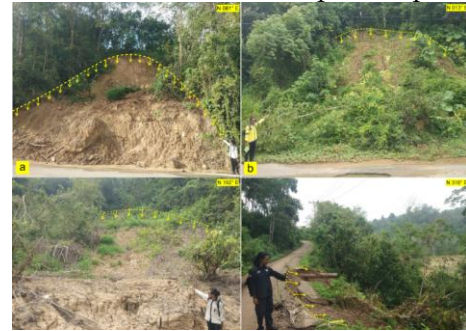


Gambar 3. Peta morfologi elevasi daerah penelitian

Proses Geomorfik

Proses geomorfik merupakan serangkaian aktivitas yang terjadi secara alami yang dapat membentuk maupun mengubah bentuk permukaan bumi melalui proses pelapukan, erosi, sedimentasi, maupun gerakan massa. Salah satu bentuk dari proses gerakan massa yaitu tanah longsor, yang merupakan pergerakan massa tanah secara tiba-tiba yang biasanya diakibatkan oleh adanya gaya gravitasi yang melebihi batas patahan tanah. Secara umum tanah longsor dipengaruhi oleh faktor kemiringan lereng dan curah hujan, serta dapat juga dipengaruhi oleh faktor jenis tanah, tutupan lahan maupun faktor lainnya. Pada daerah penelitian terdapat beberapa titik longsor dengan dua tipe longsor yaitu *Translational landslide* (Gambar 4) dan longsor dengan tipe *Debris flow* (Gambar 5).

Translational landslide merupakan tipe longoran



Gambar 4. Longsor dengan tipe *translational landslide* pada daerah penelitian

dimana material longoran bergerak pada bidang gelincir yang cenderung miring serta memiliki arah pergerakan material longoran yang searah (Yang et al., 2024). Sedangkan *debris flow* merupakan tipe longoran dengan material longoran yang bercampur dengan air dan cenderung lebih jenuh air (Huang et al., 2022). Hujan dengan intensitas tinggi merupakan faktor dominan yang memicu jenis longsor ini. atau karena adanya pelepasan air secara tiba-tiba dengan jumlah yang banyak.

Banyaknya jumlah titik longsor yang terdapat

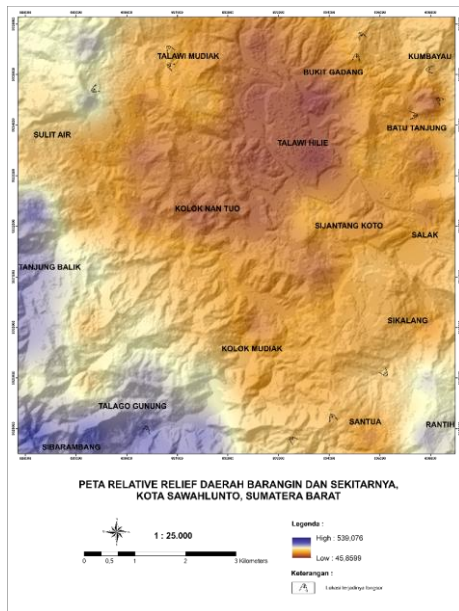


Gambar 5. Longoran dengan tipe *debris flow* pada daerah penelitian

pada daerah penelitian merupakan hasil dari interaksi berbagai faktor alami dan aktivitas manusia yang mempengaruhi kestabilan lereng. Salah satu faktor tersebut yaitu curah hujan tinggi, yang menyebabkan peningkatan tekanan air dalam pori-pori tanah serta

penurunan kohesi antar partikel, dan menyebabkan tanah menjadi jenuh air sehingga memperlemah struktur tanah, terutama pada lereng terjal yang memiliki gaya geser dominan (Cho et al., 2024).

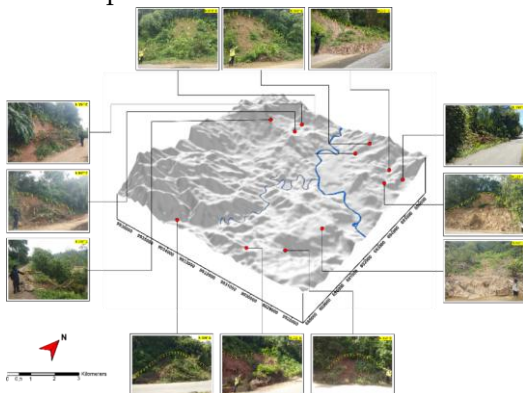
Pada gambar di atas menunjukkan visualisasi



Gambar 6. Peta *relative relief* daerah penelitian

dalam bentuk peta *relative relief* yang menunjukkan adanya variasi potensi erosi. Peta tersebut menunjukkan di mana daerah berwarna biru tua mencerminkan area dengan tingkat erosi yang tinggi, warna krem – coklat muda menunjukkan area dengan tingkat erosi sedang dan warna coklat tua menunjukkan area dengan tingkat erosi yang rendah.

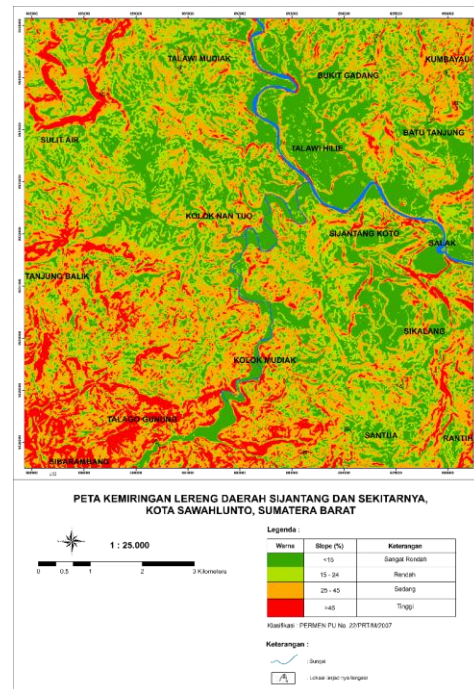
Titik longsor pada daerah penelitian cenderung tersebar pada daerah dengan tingkat erosi sedang hingga tinggi seperti pada (Gambar 6) yang menunjukkan persebaran titik longsor yang terdapat pada daerah penelitian.



Gambar 7. Sebaran titik longsor pada daerah penelitian

Kemiringan Lereng Daerah Penelitian

Kemiringan lereng merepresentasikan sudut kemiringan suatu lahan dibandingkan dengan bidang datar, dengan nilai yang biasanya dituliskan dalam persen (Zhang et al., 2024). Kemiringan lereng berperan penting dalam menentukan stabilitas tanah serta potensi terjadinya erosi atau longsor (Setyanugraha et al., 2023). Peta kemiringan lereng diperoleh melalui pengolahan data DEMNAS pada *software ArcGIS* yaitu dengan



Gambar 8. Peta kemiringan lereng daerah penelitian

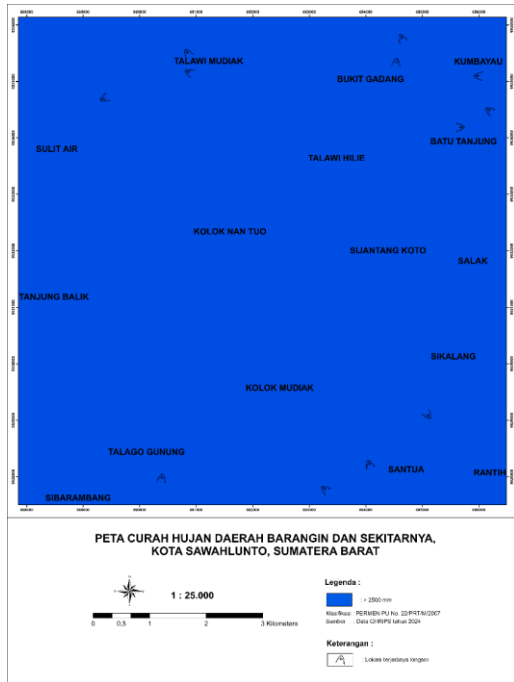
menggunakan *tools raster to TIN* dengan menggunakan klasifikasi yang tercantum pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 22/PRT/M/2007.

Berdasarkan peta kemiringan lereng pada gambar di atas menunjukkan variasi kelerengan pada daerah penelitian. Warna hijau tua pada peta menunjukkan daerah dengan kelerengan sangat rendah, warna hijau muda menunjukkan daerah dengan kelerengan rendah, warna jingga dengan kelerengan sedang dan warna merah dengan kelerengan tinggi. Distribusi titik longsor pada peta menunjukkan konsentrasi pada area dengan lereng menengah hingga curam, yang menguatkan peran kemiringan lereng sebagai faktor signifikan dalam pengendalian fenomena longsor di daerah penelitian.

Curah Hujan Daerah Penelitian

Curah hujan merupakan banyaknya volume air hujan yang jatuh ke permukaan tanah dalam satuan waktu tertentu (Ribeiro et al., 2021). Curah hujan biasanya berdampak langsung terhadap muka air tanah,

tekanan air pori, dan stabilitas lereng, terutama ketika intensitasnya tinggi atau berdurasi lama (Muchtaranda et al., 2022). Peta curah hujan daerah penelitian diperoleh melalui pengolahan data CHRIPS menggunakan *software* ArcGIS yaitu dengan menggunakan *tools* IDW dan menggunakan klasifikasi yang tercantum pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 22/PRT/M/2007.

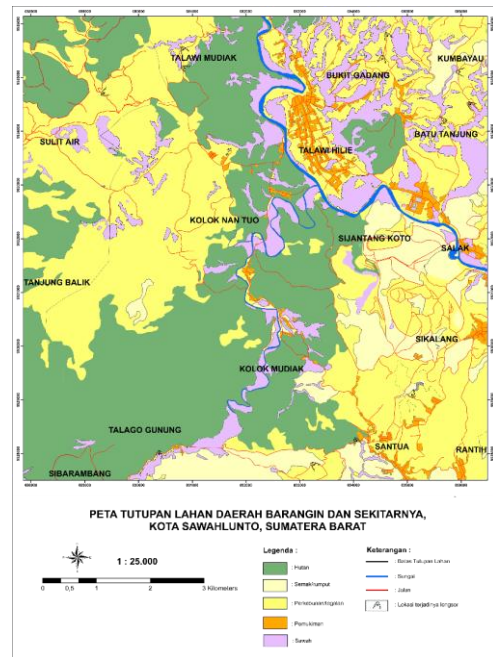


Gambar 9. Peta curah hujan daerah penelitian

Berdasarkan peta curah hujan pada gambar di atas menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki curah hujan yang tinggi yaitu berada pada >2500 mm. Semakin tinggi curah hujan di wilayah studi, semakin besar potensi kejenuhan tanah oleh air, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap peningkatan risiko tanah longsor (Kim & Lee, 2023).

Tutupan Lahan Daerah Penelitian

Peta tutupan lahan diperoleh melalui pengolahan data *shapefile* tutupan lahan pada daerah penelitian yang mana peta ini menunjukkan representasi dari penggunaan lahan pada daerah penelitian. Peta ini menggambarkan bagaimana permukaan bumi pada daerah penelitian digunakan atau ditutupi baik itu oleh elemen alami seperti vegetasi maupun oleh elemen buatan manusia seperti infrastruktur bangunan (Nedd et al., 2021). Pada peta yang terdapat pada (Gambar 9) menunjukkan bahwa daerah penelitian terdiri dari tutupan lahan berupa hutan, sawah, semak/rumput, perkebunan/tegalan, sawah, pemukiman, dan juga terdapat jalan raya. Dapat dilihat bahwa titik - titik longsor pada daerah penelitian

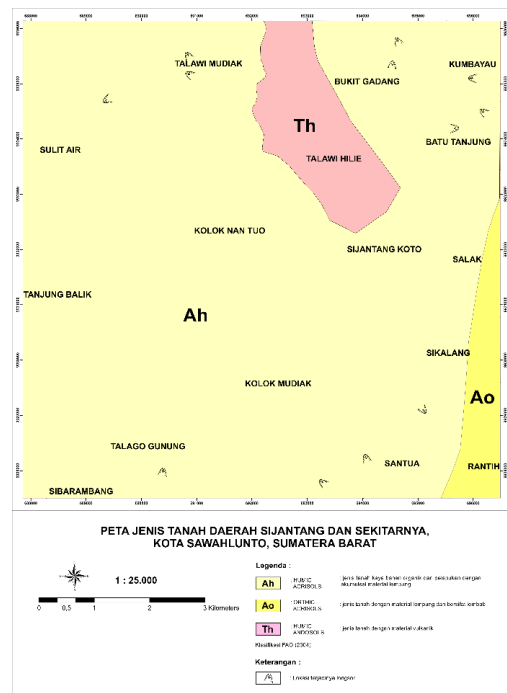


Gambar 10. Peta tutupan lahan daerah penelitian

banyak tersebar di sepanjang jalan pinggir hutan maupun perkebunan.

Jenis Tanah Daerah Penelitian

Peta jenis tanah diperoleh melalui pengolahan data DSMW (*Digital Soil Map of the World*) yang diterbitkan oleh FAO-UNNESCO menggunakan *software* ArcGIS. Pada (Gambar 11) dapat dilihat bahwa daerah penelitian didominasi oleh tanah dengan jenis *Humic Acrisols* yang merupakan jenis tanah yang kaya



Gambar 11. Peta jenis tanah daerah penelitian

akan material organik dari pelapukan dan akumulasi material sedimen yang didominasi oleh lempung.

Selain itu juga terdapat jenis tanah *Orthic Acrisols* yang merupakan jenis tanah dengan material lempung yang bersifat lembab, serta *Humic Andosol* yang merupakan jenis tanah dengan kandungan material vulkanik. Pada peta jenis tanah juga dapat dilihat bahwa titik – titik longsor tersebar pada daerah dengan jenis tanah *Humic Acrisols* yang merupakan jenis tanah yang kaya akan material organik dari pelapukan dan akumulasi material sedimen yang didominasi oleh lempung.

Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)

Pendekatan *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP) adalah pengembangan dari pendekatan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dengan prinsip *fuzzy logic* guna menangani ketidakpastian dalam proses pengambilan keputusan. Modifikasi ini ditujukan untuk mengatasi ketidakpastian dalam pengambilan keputusan yang bersifat objektif serta memungkinkan adanya penilaian yang lebih fleksibel (Liu et al., 2023). Dalam pengaplikasian pendekatan *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP), perbandingan antar kriteria disajikan dalam bentuk bilangan *fuzzy*, sehingga mampu menggambarkan ketidaktepatan dan keragaman dalam persepsi yang bersifat objektif. Proses ini menghasilkan bobot prioritas yang lebih fleksibel dan representatif, menjadikannya pendekatan yang efektif dalam pengambilan keputusan multikriteria (Bi et al., 2025).

Tabel 1: Parameter pembobotan FAHP

No	Kriteria	Kelas	Skor	Klasifikasi
1	Kemiringan lereng (35%)	< 15%	1	PERMEN PU No.
		15% - 24%	2	22/PRT/M/2007
		25% - 44%	3	
		> 45%	4	
2	Curah hujan (30%)	< 1000 mm	1	PERMEN PU No.
		1000 mm - 2500 mm	2	22/PRT/M/2007
		> 2500mm	3	
		Hutan Perkebunan, tegalan	1	
Semak, rumput	2			
3	Tutupan lahan (15%)	Pemukiman, gedung, sawah	3	22/PRT/M/2007
			4	
4		Aluvial	1	PERMEN PU No.
		Kapur	2	

No	Kriteria	Kelas	Skor	Klasifikasi
	Jenis tanah (20%)	Sedimen	3	22/PRT/M/2007
		Vulkanis	4	

Matriks Perbandingan Berpasangan

Matriks perbandingan berpasangan merupakan gambaran secara numerik yang membandingkan beberapa elemen atau kriteria pada satu waktu. Hal ini bertujuan untuk menilai tingkat kepentingannya secara relatif. Hubungan antar elemen bersifat resiprokal, memastikan konsistensi logika dalam proses penilaian multikriteria (Spanidis et al., 2021).

$$A = [a_{ij}] \text{ dengan } a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$$

Tabel 2: Matriks perbandingan berpasangan

Kriteria	KL	CH	TL	JT
KL	1	1,17	2,33	1,75
CH	0,86	1	2	1,50
TL	0,43	0,50	1	0,75
JT	0,57	0,67	1,33	1
Jumlah	2,86	3,33	6,67	5,00

Nilai Eigen (λ)

Nilai Eigen dalam FAHP diaplikasikan dalam menghitung indeks konsistensi (CI) dan rasio konsistensi (CR) guna menilai apakah penilaian antar kriteria dalam matriks berpasangan memiliki konsistensi logis.

$$\lambda_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \right)$$

Tabel 3: Nilai Eigen

Kriteria	Jumlah	λ
Kemiringan lereng	1,40	0,35
Curah hujan	1,20	0,30
Tutupan lahan	0,60	0,15
Jenis tanah	0,80	0,20

Weighted Sum Vector (WSV)

Weighted Sum Vector (WSV) adalah hasil perkalian antara *pairwise comparison* dengan Eigen vector dari masing-masing kriteria. Nilai WSV mencerminkan kesesuaian antara bobot yang diberikan dan hubungan logis antar kriteria. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi konsistensi logis dari penilaian dalam matriks dan merupakan bagian dari perhitungan nilai Eigen maksimum. Selain itu, WSV juga digunakan

untuk menghitung nilai Eigen maksimum yang diperlukan dalam evaluasi konsistensi matriks.

$$WSVi = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j$$

Tabel 4: *Weighted sum vector*

Kriteria	WSV
Kemiringan lereng	1,4005
Curah hujan	1,2010
Tutupan lahan	0,6005
Jenis tanah	0,8000

Nilai Eigen-max (λ -max)

Nilai Eigen-max dalam FAHP dihitung dari rata-rata hasil pembagian antara *Weighted Sum Vector* (WSV) dengan bobot prioritas dari masing-masing kriteria.

$$\lambda - max = \frac{\sum (WSV / \bar{x} \lambda)}{n}$$

Tabel 5: Nilai λ -max

Kriteria	WS/ λ
Kemiringan lereng	4,0014
Curah hujan	4,0033
Tutupan lahan	4,0033
Jenis tanah	4,0000
λ -max	4,0020

Indeks Konsistensi (CI) dan Konsistensi Rasio (CR)

Indeks Konsistensi (CI) merupakan ukuran seberapa besar penyimpangan dari konsistensi sempurna dalam penilaian matriks berpasangan, yang dihitung dari perbedaan antara nilai Eigen maksimum (Sisay et al., 2024). Sedangkan rasio konsistensi (CR) adalah perbandingan antara CI dan Indeks Acak (RI), dan digunakan untuk menentukan apakah tingkat ketidakkonsistenan tersebut masih dapat diterima secara rasional (Asadikia et al., 2024).

Tabel 6: Nilai konsistensi rasio

CI = $(\lambda$ -Max - n)/(n-1)	0,0006746
CR = CI/RI	0,0007496

Rasio konsistensi (CR) yang memiliki nilai sebesar <0,1 menunjukkan bahwa penilaian *pairwise* memiliki tingkat konsistensi yang dapat diterima.

Dengan demikian, hasil perhitungan bobot kriteria layak digunakan dalam proses pengambilan keputusan selanjutnya.

Triangular Fuzzy Number (TFN)

Triangular Fuzzy Number (TFN) merupakan representasi dari bilangan *fuzzy* yang disusun oleh tiga komponen utama, yaitu nilai bawah (*l*), nilai tengah (*m*), dan nilai atas (*u*), yang mana nilai ini berfungsi untuk menggambarkan tingkat ketidakpastian dalam suatu proses penilaian.

Tabel 7: Nilai TFN

Kriteria	KL			CH			TL			JT		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
KL	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5
CH	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5
TL	0,67	1	2	0,67	1	2	1	1	1	0,67	1	2
JT	0,67	1	2	0,67	1	2	0,5	1	1,5	1	1	1

Nilai Sintesis Fuzzy (Si)

Nilai sintesis *fuzzy* (Si) diperoleh melalui proses perhitungan terhadap seluruh elemen *fuzzy* yang terdapat dalam matriks perbandingan berpasangan, sebagai bagian dari tahapan dalam pendekatan *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP).

$$(Si)_i = \frac{\sum li}{\sum u}, \frac{\sum mi}{\sum m}, \frac{\sum ui}{\sum l}$$

Tabel 8: Nilai sintesis *fuzzy* (Si)

Kriteria	Si		
	l	m	u
Kemiringan lereng	0,12766	0,25000	0,42254
Curah hujan	0,12766	0,25000	0,42254
Tutupan lahan	0,12766	0,25000	0,59155
Jenis tanah	0,12057	0,25000	0,54930

Nilai Prioritas Fuzzy (V)

Nilai prioritas *fuzzy* merupakan gambaran berupa angka yang memperlihatkan tingkat kepentingan dari suatu kriteria dalam pengambilan keputusan yang dihitung dengan mempertimbangkan ketidakpastian dan subjektivitas melalui bilangan *fuzzy*. Bilangan *fuzzy* untuk merepresentasikan tingkat kepentingan setiap kriteria secara lebih fleksibel.

$$V = \frac{l_2 - u_1}{(m_1 - u_1) - (m_2 - u_2)}$$

Tabel 9: Nilai prioritas fuzzy (V)

Skala prioritas	KL	CH	TL	JT
KL	1,58673	1,58673	1,58673	1,62075
CH	1,58673	1,58673	1,58673	1,62075
TL	1,23585	1,23585	1,23585	1,24952
JT	1,28642	1,28642	1,28642	1,30302

Normalisasi Bobot FAHP

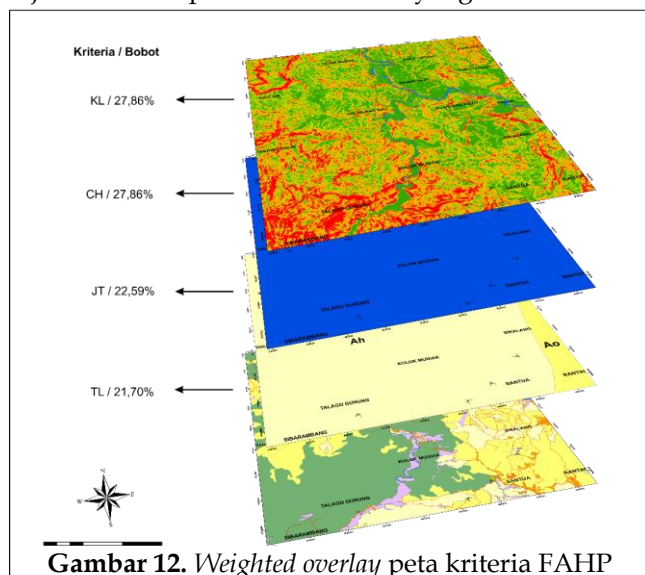
Dalam FAHP, normalisasi bobot diperoleh dengan menghitung rasio antara masing-masing nilai defuzzifikasi dan jumlah total bobot defuzzifikasi. Proses ini bertujuan agar bobot akhir mencerminkan proporsi relatif dari setiap kriteria terhadap keseluruhan keputusan, di mana total bobot adalah 1.

$$w_1 = \frac{w_1}{w_1 + \dots + w_n}$$

Tabel 10: Normalisasi bobot FAHP

Kriteria	d-min	Bobot FAHP
Kemiringan lereng	1,58673	0,27858
Curah hujan	1,58673	0,27858
Tutupan lahan	1,23585	0,21698
Jenis tanah	1,28642	0,22586
Jumlah	5,69574	1

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan pendekatan *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP) diperoleh bobot FAHP (dalam %) untuk masing-masing kriteria yaitu; Kemiringan lereng 27,86%; Curah hujan 27,86%; Tutupan lahan 21,70% dan Jenis tanah 22,59%. Berdasarkan pembobotan tersebut dapat dilihat bahwa antara kemiringan lereng dan curah hujan memiliki pembobotan akhir yang identik. Hal ini



Gambar 12. Weighted overlay peta kriteria FAHP

menunjukkan antara kedua parameter ini berperan penting terhadap terjadinya tanah longsor pada daerah penelitian. Selanjutnya, dilakukan proses *weighted overlay* menggunakan perangkat lunak GIS untuk menghasilkan peta zona kerawanan tanah longsor menggunakan bobot yang telah diperoleh sebelumnya.

Peta Rawan Bencana Tanah Longsor

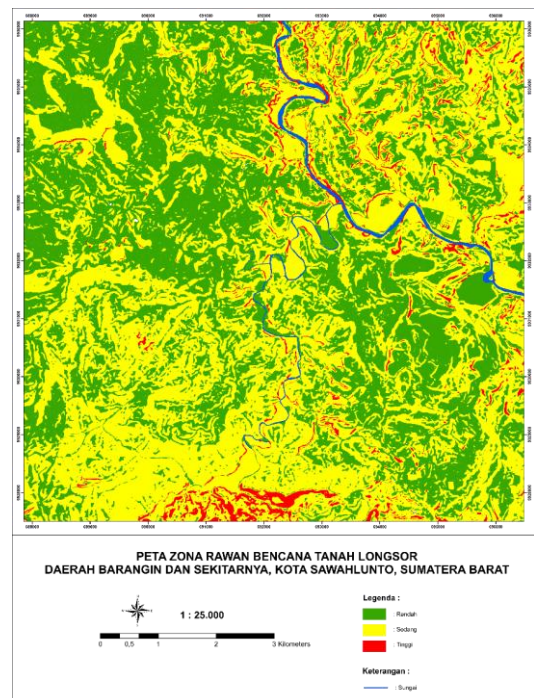
Peta rawan tanah longsor dihasilkan melalui analisis spasial, yaitu dengan melakukan *weighted overlay* terhadap peta parameter menggunakan *software ArcGIS*. *Weighted overlay* ini ditujukan untuk mengintegrasikan berbagai peta tematik ke dalam satu kerangka spasial hingga diperoleh peta zona rawan tanah longsor daerah penelitian. Proses klasifikasi tingkat ancaman tanah longsor mengacu pada ketentuan resmi dari Perka BNPB No. 02 Tahun 2012 mengenai pedoman umum pengkajian risiko bencana dengan perhitungan interval kelas sebagai berikut:

$$IK = \frac{N_{max} - N_{min}}{n_{kelas}}$$

Tabel 11: Klasifikasi kerawanan bencana tanah longsor

Interval Kelas	Kerawanan
1,75 - 2,33	Rendah
>2,33 - 2,91	Sedang
>2,91 - 3,48	Tinggi

Peta rawan bencana tanah longsor di atas menggambarkan distribusi spasial mengenai daerah



Gambar 13. Peta zona rawan bencana tanah longsor daerah penelitian

rawan bencana tanah longsor pada daerah penelitian.

Peta ini menunjukkan klasifikasi wilayah berdasarkan tingkat kerawanan yang diklasifikasikan menjadi tiga tingkat kerentanan: rendah, sedang, dan tinggi. Zona rawan rendah yang ditandai dengan warna hijau umumnya tersebar di wilayah dataran atau lereng landai dengan sebaran vegetasi yang cukup padat, mencerminkan tingkat kestabilan lereng yang relatif baik. Zona rawan sedang, yang ditunjukkan dengan warna kuning, tersebar luas di area peralihan antara dataran rendah dan perbukitan, mengindikasikan potensi longsor yang sedang, terutama saat terjadi curah hujan tinggi. Sementara itu, zona rawan tinggi yang ditandai dengan warna merah tampak terkonsentrasi di daerah perbukitan terjal dan sekitar lereng sungai, menunjukkan area yang sangat rentan terhadap longsor akibat kombinasi kemiringan curam, kondisi geologi yang labil, dan kemungkinan tekanan dari aktivitas manusia. Keberadaan Sungai Batang Ombilin dan Sungai Batang Malakutan yang mengalir dari utara ke tenggara juga turut memengaruhi pola kerawanan, di mana erosi tebing dapat mempercepat terjadinya longsor di sekitar bantaran sungai.

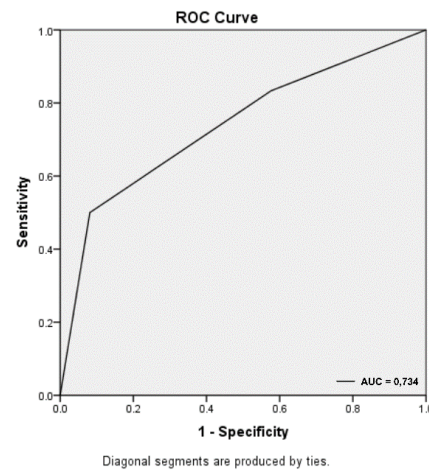
Validasi Model Dengan Kurva ROC

Receiver Operating Characteristic (ROC) merupakan grafik yang menggambarkan hubungan antara kurva sensitivitas dan 1-spesifisitas pada absis, dengan variasi nilai ambang klasifikasi. Kurva ROC diaplikasikan untuk menguji akurasi diskriminasi model terhadap dua kelas data. Nilai AUC yang dihasilkan dari perhitungan luas area bawah kurva digunakan sebagai nilai utama dalam penilaian kinerja model (White et al., 2023).

Tabel 12: Klasifikasi nilai AUC

Rentang Nilai	Klasifikasi
≥ 0,90	Sangat baik
0,80 - 0,90	Baik
0,70 - 0,80	Cukup baik
0,60 - 0,70	Buruk
0,50 - 0,60	Sangat buruk

Pengujian model menggunakan kurva ROC dilakukan dengan melibatkan total 123 titik data, yang terdiri dari 12 titik yang merepresentasikan kejadian longsor (*positive value*) dan 111 titik yang tidak menunjukkan adanya kejadian longsor (*false value*). Pemisahan antara nilai positif dan negatif ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan diskriminatif model dalam membedakan antara area rawan dan tidak rawan longsor secara kuantitatif.



Gambar 14. Kurva ROC

Tabel 13: Data validasi ROC

Kelas	Jumlah	
	Positif	Negatif
Rendah	2	47
Sedang	4	55
Tinggi	6	9
Total	12	111

Berdasarkan analisis kurva ROC di atas, model FAHP yang diterapkan pada daerah penelitian menunjukkan kemampuan prediksi yang cukup baik. Hal ini dapat dilihat dari bentuk kurva dengan nilai AUC yang diperoleh sebesar 0,734. Dengan demikian, model FAHP dapat dikatakan memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam memetakan zona rawan longsor di daerah penelitian.

Kesimpulan

Melalui penerapan pendekatan *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP) yang terintegrasi dengan analisis spasial GIS, penelitian ini berhasil mengidentifikasi zona kerawanan tanah longsor di wilayah Barangin, Kota Sawahlunto. Penentuan bobot berdasarkan empat parameter utama menunjukkan bahwa kemiringan lereng dan curah hujan memiliki pengaruh paling besar terhadap tingkat kerawanan. Hasil pemetaan menunjukkan dominasi zona kerawanan sedang, dengan distribusi zona tinggi terkonsentrasi pada area dengan karakteristik lereng curam dengan aktivitas erosi yang tinggi. Peta zonasi yang dihasilkan tidak hanya menggambarkan kondisi kerawanan fisik wilayah, tetapi juga dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam perencanaan pembangunan dan mitigasi bencana secara preventif. Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan FAHP efektif dalam mengakomodasi kompleksitas antar

parameter, sekaligus memberikan gambaran yang lebih realistis terhadap potensi bencana yang ada.

Daftar Pustaka

- Akbar, M. A., Utami, S. R., & Agustina, C. (2022). SIMULASI PENGUKURAN LONGSOR PADA KEMIRINGAN LERENG DAN KETEBALAN SERESAH YANG BERBEDA (pp. 321-327). *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2022.009.2.12>
- Aminudin, A., & Arwan Putra Wijaya, F. H. (2023). ANALISIS ZONA RAWAN TANAH LONGSOR MENGGUNAKAN METODE FUZZY ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (FAHP) (Studi Kasus: Kabupaten Boyolali). *Jurnal Geodesi Undip*.
- Asadikia, A., Rajabifard, A., & Kalantari, M. (2024). Navigating sustainability: key factors in prioritising Sustainable Development Goals. *Sustainability Science*, 19(6), 2041-2063. <https://doi.org/10.1007/s11625-024-01561-y>
- Bi, H., Gu, Y., Lu, F., & Mahreen, S. (2025). Site selection of electric vehicle charging station expansion based on GIS-FAHP-MABAC. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 15(1), 293-306. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2023.9.009>
- Calvin, A. F., Rizalihadi, M., BC, A. Y., & Shaskia, N. (2024). Analisis Spasial Kerawanan Banjir Menggunakan Metode Overlay AHP Multi Criteria Decision Making di DAS Keureuto. *Journal of The Civil Engineering Student*, 6(1), 29-35. <https://doi.org/10.24815/journalces.v6i1.28974>
- Cho, M. T. T., Sato, T., Saito, H., Izumi, A., & Kohgo, Y. (2024). Effects of pore water and pore air pressure on the slope failure mechanisms due to rainfall in centrifuge investigation. *Geoenviromental Disasters*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-024-00305-5>
- Huang, Y., Sun, J., & Zhu, C. (2022). Mechanism and Prevention of Debris Flow Disaster. *Water (Switzerland)*, 14(7), 2-4. <https://doi.org/10.3390/w14071143>
- Idrus, I., & Umar, B. (2024). Mitigasi Bencana Banjir Akibat Longsor pada Daerah Aliran Sungai Terhadap Ketersediaan Air Bersih di Kecamatan Dondo. I(02), 46-52.
- Kim, M. Il, & Lee, S. J. (2023). An Analysis of Landslide Risk Using the Change in the Volumetric Water Content Gradient in the Soil Layer Per Unit Time of Effective Cumulative Rainfall. *Water (Switzerland)*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/w15091699>
- Liu, K., Chen, Y., Wang, H., Xie, H., & Liu, Z. (2023). Reducing inconsistencies of FAHP in structural safety assessment of diversion tunnels. *Applied Soft Computing*, 146, 110642. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110642>
- Nedd, R., Light, K., Owens, M., James, N., Johnson, E., & Anandhi, A. (2021). A Synthesis of Land Use/Land Cover Studies: Definitions, Classification Systems, Meta-Studies, Challenges and Knowledge Gaps on a Global Landscape. *Land*, 10(2020), 1-30.
- Ribeiro, A. S., Almeida, M. C., Cox, M. G., Sousa, J. A., Martins, L., Loureiro, D., Brito, R., Silva, M., & Soares, A. C. (2021). Role of measurement uncertainty in the comparison of average areal rainfall methods. *Metrologia*, 58(4). <https://doi.org/10.1088/1681-7575/ac0d49>
- Saygin, F., & Yasemin, S. (2023). Spatial assessment of landslide susceptibility mapping generated by fuzzy-AHP and decision tree approaches β is. *Elsevier*, 71, 5218-5235. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.01.057>
- Septian, A., Sabri, L. M., & Hadi, F. (2023). Implementasi Metode Fuzzy Analytical Hierarchy Process Dalam Pembuatan Peta Ancaman Banjir (Studi Kasus: Kota Bekasi, Jawa Barat). *Jurnal Geodesi Undip*, 12(3), 301-310. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jgundi.p.2023.39071>
- Setyanugraha, T., Romdania, Y., Herison, A., & Zakaria, A. (2023). Pemetaan Kemiringan Lereng Menggunakan Software Geographic Information System Pada Sub DAS Way Pubian. 11(2), 351-362.
- Sisay, T., Tesfaye, G., Jothimani, M., Reda, T. M., & Tadese, A. (2024). Landslide susceptibility mapping using combined geospatial, FR and AHP models: a case study from Ethiopia's highlands. *Discover Sustainability*, 5(1). <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00730-4>
- Spanidis, P. M., Roumpos, C., & Pavloudakis, F. (2021). A fuzzy-ahp methodology for planning the risk management of natural hazards in surface mining projects. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1-23. <https://doi.org/10.3390/su13042369>
- White, N., Parsons, R., Collins, G., & Barnett, A. (2023). Evidence of questionable research practices in clinical prediction models. *BMC Medicine*, 21(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s12916-023-03048-6>
- Widyatmanti, W., Wicaksono, I., & Syam, P. D. R. (2016). Identification of topographic elements composition based on landform boundaries from

radar interferometry segmentation (preliminary study on digital landform mapping). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 37(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/37/1/012008>

Yang, L., Wang, M., & Zhang, Q. (2024). Study of the multi-critical parameters characterizing the instability behavior of translational rockslides considering the excavation. *Arabian Journal of Geosciences*, 17(11), 289. <https://doi.org/10.1007/s12517-024-12096-y>

Zhang, Q., Cao, S., Du, Y., Du, M. Y., Zhao, Y., & Nie, Y. (2024). Based on the improved SCGM(1,1)c and WIV rainfall landslide susceptible area prediction model. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 15(1). <https://doi.org/10.1080/19475705.2024.2399667>