

Pemetaan Zona Rawan Longsor di Kawasan Agam-Bukittinggi berbasis *Google Earth Engine* menggunakan Teknik Evaluasi Multi-Kriteria

Nisful Hilalliyah¹, Elistia Liza Namigo^{2*}

Laboratorium Fisika Bumi, Departemen Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 17 Februari 2025
Direvisi: 5 April 2025
Diterima: 11 Mei 2025

Kata kunci:

Agam-Bukittinggi
Google Earth Engine
Multi-kriteria
Pemetaan Longsor

Keywords:

Agam-Bukittinggi
Google Earth Engine
Multi criteria
Landslide Mapping

Penulis Korespondensi:

Elistia Liza Namigo
Email:
elistializanamigo@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan pemetaan zona rawan longsor berbasis *Google Earth Engine* (GEE) menggunakan teknik evaluasi multi-kriteria yang mencakup *scoring*, klasifikasi dan *overlay* terhadap lima parameter longsor di Kawasan Agam dan Bukittinggi, Sumatera Barat. Parameter yang digunakan meliputi kemiringan lereng, curah hujan, penggunaan lahan, jenis batuan dan jenis tanah. Metode klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dengan algoritma *random forrest classifier* digunakan dalam pembuatan peta klasifikasi penggunaan lahan. Berdasarkan hasil pemetaan, daerah Agam-Bukittinggi didominasi oleh tingkat kerawanan longsor tinggi sampai sangat tinggi dengan luas area 77,5% (1680,55 km²) dari total luas area penelitian dan tingkat kerawanan sedang. Daerah-daerah dengan kerawanan longsor tinggi sampai sangat tinggi berada di Kecamatan Tanjung Raya, Matur, Malalak, IV Koto, Palupuh, Palembayan, Tilatang Kamang, Ampek Angkek, Kamang Magek, Banuhampu, Matur, Sungai Pua, Candung, Baso dan Kota Bukittinggi serta di sebagian Kecamatan Ampek Nagari dan Lubuk Basung. Sedangkan risiko longsor sedang dengan persentase luas sekitar 22% terdapat pada Kecamatan Ampek Nagari, Kecamatan Lubuk Basung dan Tanjung Mutiara.

Landslide vulnerability zone mapping with Google Earth Engine (GEE) has been conducted through a multi-criteria evaluation technique that encompasses scoring, categorization, and overlay of five landslide characteristics in the Agam and Bukittinggi regions of West Sumatra. The criteria utilized are slope, rainfall, land usage, rock type, and soil type. The supervised classification technique employing a random forest classifier is utilized to generate land use categorization maps. The mapping results indicate that the Agam-Bukittinggi region is predominantly characterized by a high to very high degree of landslide susceptibility, encompassing 77,5% (1680,55 km²) of the overall research area, with a medium level of vulnerability. Regions exhibiting high to very high susceptibility to landslides including Tanjung Raya District, Matur District, Malalak District, IV Koto District, Palupuh District, Palembayan District, Tilatang Kamang District, Ampek Angkek District, Kamang Magek District, Banuhampu District, Matur District, Sungai Pua District, Candung District, Baso District and Bukittinggi City. Simultaneously, there exists a 22% risk of moderate landslides in Ampek Nagari District, Lubuk Basung, and Tanjung Mutiara Districts.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Kabupaten Agam merupakan daerah dengan potensi longsor yang tinggi (Pusdalops PB Sumbar, 2022). Hal ini karena daerah tersebut berada di jalur-jalur patahan dan rekahan, topografi yang beragam dengan kemiringan lebih dari 30% dan ketinggian mencapai 800 m hingga 944 m yang tersusun atas endapan batuan tuf, andesit, obsidian, batuan beku, serta batuan piroklastik lainnya. Selain faktor geologi, curah hujan di wilayah ini tergolong tinggi yakni berkisar antara 2700 hingga 3500 mm pertahun (Dinas Komunikasi dan Informasi Kabupaten Agam, 2022). Berdasarkan informasi Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) Kabupaten Agam pernah mengalami longsor yang cukup besar di beberapa kawasanya pada tahun 1980 yang disebabkan oleh curah hujan yang tinggi dan pada tahun 2009 sebagai akibat dari gempa dan disusul oleh curah hujan yang tinggi. Kejadian ini menghancurkan lebih kurang empat dusun dengan korban yang cukup banyak, yaitu 80 orang meninggal dunia, 90 orang luka berat, 47 orang luka ringan (Fransiska et al., 2017).

Pemetaan kerawanan longsor untuk daerah Kabupaten Agam diantaranya telah dilakukan Fransiska et al (2017) di Kabupaten Agam. Pada penelitiannya digunakan parameter kemiringan lereng, kedalaman tanah, sifat batuan, penggunaan lahan dan tipe iklim. Hasil penelitian membagi tingkat kerawanan longsor dalam 4 kelas bahaya. Daerah yang termasuk dalam kelas bahaya tinggi tersebar di bagian utara, timur hingga selatan kabupaten Agam, sedangkan bagian barat termasuk kelas bahaya rendah hingga sedang. Kemudian penelitian sejenis juga dilakukan oleh Adfy dan Marzuki (2021) dengan menggunakan parameter kemiringan lereng, curah hujan dan pergerakan tanah. Pada hasil penelitiannya tingkat kerawanan longsor terbagi atas lima kelas. Bagian barat, utara hingga timur laut Kabupaten Agam termasuk kelas kerawanan tinggi hingga sangat tinggi, sedangkan bagian timur hingga selatan Kabupaten Agam termasuk kelas kerawanan sedang hingga sangat rendah. Berdasarkan pemetaan pada kedua penelitian tersebut terdapat perbedaan hasil pemetaan zona rawan longsor. Selain itu kedua pemetaan pada penelitian sebelumnya juga tidak mencakup Kota Bukittinggi.

Pada penelitian ini dilakukan pemetaan zona rawan longsor di kawasan Agam-Bukittinggi dengan teknik evaluasi multi-kriteria. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, pemetaan dilakukan menggunakan lima parameter terkait longsor yaitu kemiringan lereng, curah hujan, penggunaan lahan, jenis batuan dan jenis tanah. Parameter tersebut merupakan parameter yang umum digunakan dalam pemetaan kerawanan longsor seperti pada penelitian Erfani et al (2023), Feronika et al (2023) dan Mukhlisa et al (2023). Pengolahan data dilakukan pada platform *cloud computing Google Earth Engine* (GEE). Platform ini memiliki keunggulan yaitu menyediakan akses ke berbagai data satelit secara realtime yang dapat memudahkan pengumpulan informasi untuk cakupan area yang luas serta fleksibilitas dalam pemrograman karena dapat diintegrasikan dengan beberapa metode *machine learning* (Amani et al., 2020).

II. METODE

Penelitian ini menggunakan data sekunder sebagai bahan penelitian. Beberapa data diakses langsung melalui platform *Google Earth Engine* yaitu data kemiringan lereng, data curah hujan dan data penggunaan lahan. Sedangkan data historis longsor, jenis batuan, jenis tanah dan batas administrasi dikumpulkan melalui website penyedia masing-masing data yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Data yang digunakan beserta sumber

Data	Tahun	Resolusi (m)	Dataset (Sumber)
Batas administrasi	2019	-	Batas kabupaten/kota dan kecamatan (BIG)
Kemiringan lereng	2000	30	DEM SRTM (USGS)
Curah hujan harian	2019–2023	100	CHIRPS DAILY (USCB)
Penggunaan lahan	2019–2023	10	Sentinel-2A (ESA)
Jenis batuan	1997	125	Geologi litologi (ESDM)
Jenis Tanah	1995	900	DSMW (FAO)
Historis longsor	2019–2023	-	Data bencana Indonesia (BNPB)

2.1 Pengolahan Data

Sebelum memetakan zona rawan longsor dilakukan terlebih dahulu pemetaan tiap parameter terkait longsor yaitu curah kemiringan lereng, curah hujan, penggunaan lahan, klasifikasi jenis batuan dan jenis tanah. Untuk setiap peta dilakukan pengklasifikasian yang didasarkan pada skor. Proses

pemetaan yang dilakukan mengacu kepada parameter dan klasifikasi pada penelitian Mukhlisa dkk. (2023) dengan skor dan bobot yang digunakan disesuaikan pada pembobotan RBI tahun 2016 dan PVMBG tahun 2004. Kemudian nilai skor dan bobot ditetapkan berdasarkan pengaruh dari masing-masing parameter terhadap terjadinya longsor dengan mempertimbangkan lokasi geografis serta kondisi fisik lingkungan dari kawasan yang akan dipetakan.

Peta klasifikasi setiap parameter dibuat dengan code Javascript untuk mengolah dataset di code editor platform Google Earth Engine yang dapat diakses melalui <https://code.earthengine.google.com/>. Klasifikasi yang digunakan mengacu pada Tabel 2.

Tabel 2 Skor parameter longsor

Kemiringan Lereng (%)	Curah Hujan (mm/tahun)	Penggunaan Lahan	Jenis Batuan	Jenis Tanah	Skor
0-8	<1500	Tambak, waduk, perairan	Alluvial	Gleisol	1
8-15	1501– 2000	Permukiman	Sedimen	Latosol	2
15-30	2001– 2500	Hutan dan Perkebunan	Vulkanik	Brown Forest soil	3
30-45	2501– 3000	Semak Belukar		Andosol	4
>45	>3000	Tegalan dan sawah		Organosol	5

Setelah diberi skor setiap parameter juga diberikan bobot berdasarkan tingkat pengaruhnya terhadap longsor. Kemudian dilakukan penjumlahan antara hasil perkalian skor tiap klasifikasi dengan bobotnya berdasarkan Persamaan (1).

$$\text{skor total} = 0,3KL + 0,2CH + 0,15PL + 0,2JB + 0,15JT$$

Dengan KL merupakan kemiringan lereng dengan bobot 0,3, CH adalah curah hujan dengan bobot 0,2, PL adalah penggunaan lahan dengan bobot 0,15, JB adalah jenis batuan dengan bobot 0,2, dan JT adalah jenis tanah dengan bobot 0,15. Kemudian dari skor total tersebut digunakan untuk menghitung interval kelas rawan longsor. Penentuan interval kelas kerawanan dilakukan berdasarkan persamaan berikut :

$$\text{interval kelas} = \frac{\text{skor}_{\text{tertinggi}} - \text{skor}_{\text{terendah}}}{\text{jumlah kelas}}$$

Berdasarkan Persamaan (1) skor tertinggi bernilai 4,6 dan total skor terendah bernilai 1 serta jumlah kelas rawan longsor yang ingin dipetakan adalah 4 yaitu rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Berdasarkan Persamaan (2) diperoleh interval kelas dengan nilai 0,9 dengan interval skor setiap kelas kerawanan dapat dilihat pada Tabel 3. Interval kelas ini digunakan untuk membagi zona rawan longsor yang akan dipetakan.

Tabel 3 Interval kelas kerawanan longsor

Interval kelas	Tingkat kerawanan
1 – 1,9	Rendah
1,9 – 2,8	Sedang
2,8 – 3,6	Tinggi
> 3,6	Sangat Tinggi

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng di kawasan Agam-Bukittinggi dibagi menjadi lima kelas, yaitu sangat curam, curam, agak curam, landai, dan datar. Berdasarkan Gambar 1(a) kawasan Agam-Bukittinggi didominasi oleh kemiringan lereng agak curam hingga sangat curam, yang ditunjukkan dengan warna kuning hingga merah. Kawasan ini meliputi Kecamatan Tanjung Raya, Palupuh, Malalak, Kamang Magek, Baso, Banuhampu, Sungai Pua, IV Koto, Candung, serta sebagian kecil Kecamatan Ampek Nagari dan Lubuk Basung. Kemiringan lereng memiliki kontribusi yang besar terhadap kejadian longsor di kawasan Agam-Bukittinggi.

3.2 Peta Rata-Rata Curah Hujan Tahunan

Hasil pemetaan klasifikasi rata-rata curah hujan dalam rentang 5 tahun kawasan Agam-Bukittinggi beserta perkiraan luas area ditampilkan pada Gambar 1 (b). Kawasan ini didominasi oleh curah hujan sedang hingga sangat basah dengan luas mencapai $\pm 94\%$ dari total luas area penelitian. Kawasan dengan curah hujan sangat tinggi meliputi Kecamatan Tanjung Mutiara, Ampek Nagari, dan Lubuk Basung. Kawasan ini terdiri dari wilayah datar yang cenderung menerima curah hujan lebih besar dibandingkan dengan daerah-daerah sekitarnya. Faktor utama yang menyebabkan tingginya curah hujan di kawasan ini adalah letaknya yang berbatasan langsung dengan Samudera Hindia, yang berperan sebagai sumber utama uap air. Kedekatan dengan samudera ini memungkinkan angin membawa lebih banyak uap air yang kemudian mengalami kondensasi dan menghasilkan hujan lebat di wilayah tersebut. Selain kawasan-kawasan tersebut, sebagian dari Kecamatan Palembayan juga termasuk kawasan dengan curah hujan yang sangat tinggi. Tingginya curah hujan di Palembayan tetap menjadi faktor penting yang perlu diperhatikan. Dengan kontur wilayah yang sebagian besar memiliki kemiringan lereng sangat curam, curah hujan tinggi di daerah ini berpotensi meningkatkan risiko terjadinya tanah longsor.

3.3 Peta Penggunaan Lahan

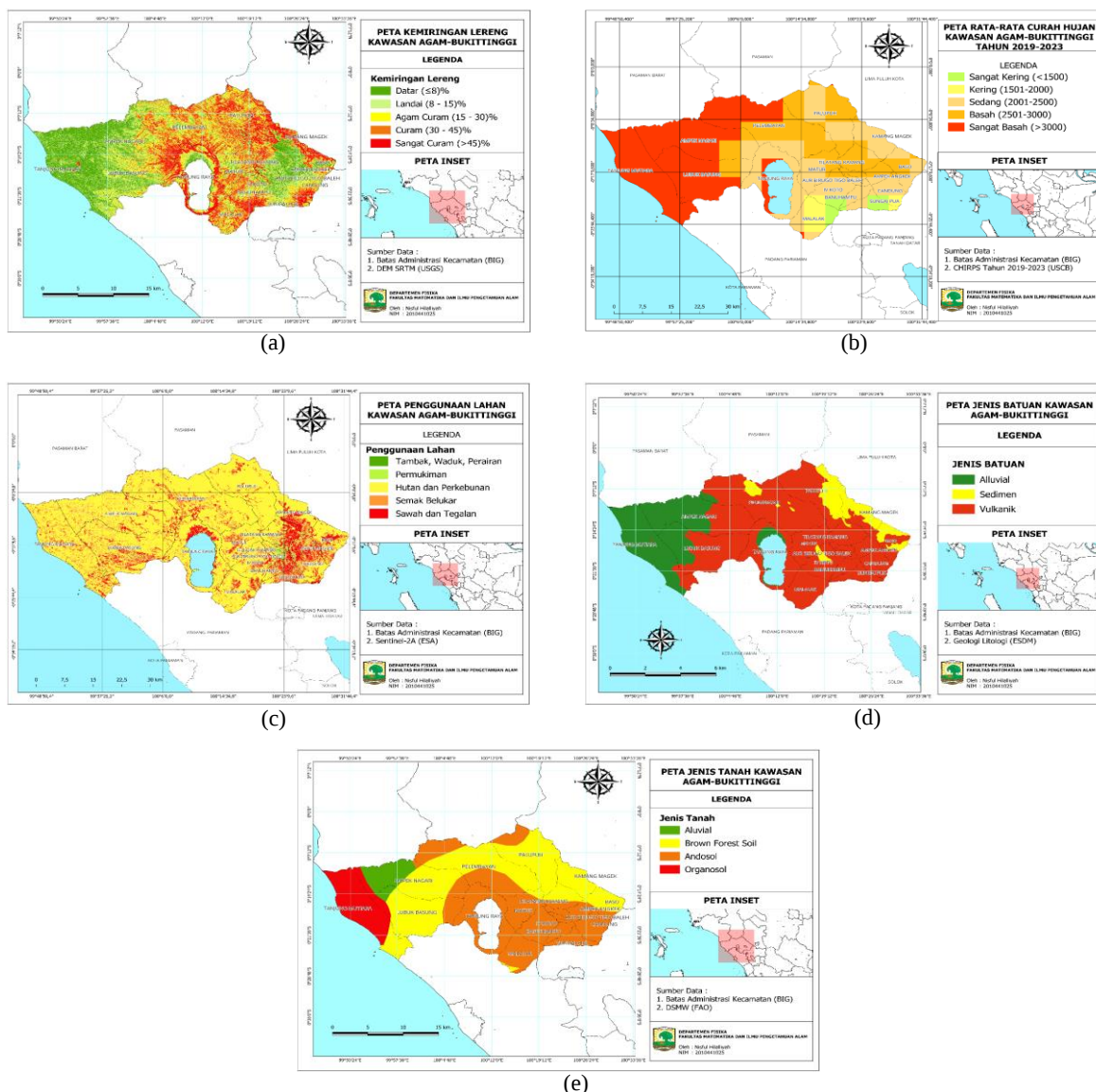
Berdasarkan Gambar 1(c) kawasan Agam-Bukittinggi didominasi oleh hutan dan perkebunan yang diwakili oleh warna kuning dengan luas mencapai $\pm 76\%$ dari total luas area penelitian. Kawasan ini memiliki risiko longsor yang cukup tinggi karena terletak pada kemiringan yang curam seperti pada Kecamatan Palupuh, Palembayan Tanjung Raya dan Malalak dan memiliki curah hujan yang basah. Selain hutan dan perkebunan, kawasan ini juga ditutupi oleh sawah dan tegalan. Area sawah terletak di Kota Bukittinggi, Kecamatan Ampek Angkek, Tilatang Kamang, Lubuk Basung dan di pinggir danau Kecamatan Tanjung Raya. Kawasan ini cenderung berada pada area yang datar karena berdekatan dengan area permukiman. Meskipun begitu area persawahan memiliki risiko longsor yang tinggi karena area tersebut sering digenangi air serta sistem pengairan sawah yang kurang baik terutama jika berada pada kemiringan lereng yang curam.

3.4 Peta Jenis Batuan

Kawasan Agam-Bukittinggi tersusun atas batuan vulkanik, sedimen dan alluvial. Kawasan ini didominasi oleh batuan vulkanik yang diwakili oleh warna merah pada Gambar 1(d) dengan luas sekitar $\pm 67\%$. Daerah yang didominasi oleh batuan vulkanik memiliki risiko longsor yang tinggi karena batuan vulkanik di kawasan ini adalah *pumis tuff* yang pada umumnya merupakan batuan yang rapuh dan mudah lapuk. Batuan vulkanik tersebar di sekitar kawasan yang memiliki kemiringan lereng yang curam serta dipengaruhi curah hujan yang sedang hingga basah sehingga menambah risiko terjadinya longsor. Kawasan tersebut meliputi Kecamatan IV Koto, Malalak, Banuhampu dan Candung. Selain area-area tersebut, batuan vulkanik juga terdapat di sebagian besar Kecamatan Palembayan, Kecamatan Palupuh, Kecamatan Tilatang Kamang, Kota Bukittinggi hingga sebagian Kecamatan Ampek Nagari dan Lubuk Basung.

3.5 Peta Jenis Tanah

Jenis tanah di kawasan Agam-Bukittinggi terdiri atas andosol, *brown forest soil*, organosol dan aluvial. Sebaran tanah yang paling luas pada kawasan ini adalah *brown forest soil* dan andosol yang diwakili oleh warna kuning dan jingga pada Gambar 1(e) dengan luas seluruhnya mencapai 84% dari total luas kawasan Agam-Bukittinggi. Tanah *brown forest soil* terbentuk dari pelapukan vegetasi yang menjadikan tanah ini cukup subur. Sedangkan tanah andosol terbentuk dari material vulkanik. Tanah jenis ini tersebar di sekitar kawasan yang berdekatan dengan gunung api. Berdasarkan material pembentuknya menjadikan kedua tanah ini cukup subur dan cocok digunakan sebagai pertanian dan perkebunan. Oleh karena itu pada kawasan ini terdapat sebaran hutan dan perkebunan serta persawahan yang luas. Tanah yang subur seperti kedua jenis tanah ini umumnya memiliki karakteristik yang gembur dan menyerap air. Ditambah fakta bahwa kawasan dengan sebaran jenis tanah ini memiliki curah hujan yang basah dan sangat basah menyebabkan kawasan tersebut memiliki risiko longsor yang tinggi karena jenis tanah yang gembur mudah menyerap air yang menyebabkan tanah menjadi jenuh sehingga dapat memicu longsor. Kawasan tersebut meliputi Kota Bukittinggi dan seluruh kecamatan di Kabupaten Agam selain Tanjung Mutiara.

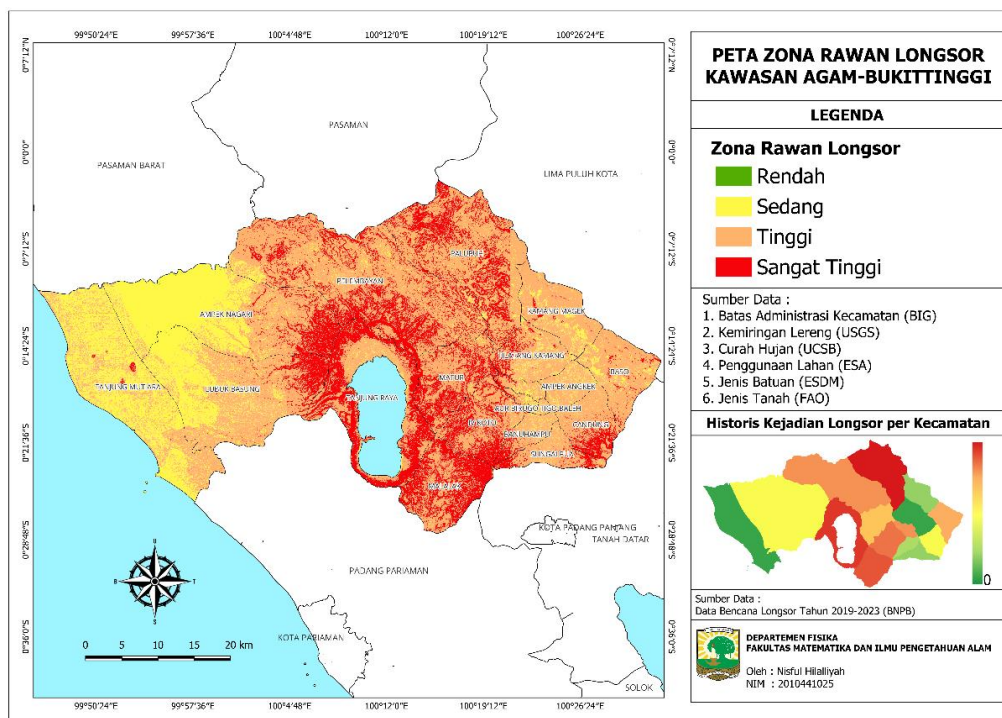


Gambar 1 Peta Klasifikasi Parameter Longsor (a) Kemiringan Lereng (b) Curah Hujan (c) Penggunaan Lahan (d) Jenis batuan (e) Jenis tanah

3.6 Zona Rawan Longsor

Kawasan Agam-Bukittinggi didominasi oleh kerawanan longsor tinggi hingga sangat tinggi (warna oranye dan merah) pada Gambar 2 dengan luas mencapai 77,5% dari total luas area kawasan Agam-Bukittinggi. Daerah dengan tingkat kerawanan longsor sangat tinggi dan tinggi di antaranya berada di Kecamatan Tanjung Raya, Matur, Malalak, IV Koto, Palupuh, Palembayan, Tilatang Kamang, Ampek Angkek, Kamang Magek, Banuhampu, Sungai Pua, Candung, Baso dan Kota Bukittinggi serta di sebagian Kecamatan Ampek Nagari dan Lubuk Basung. Berdasarkan analisis parameter sebelumnya, selain Kota Bukittinggi dan Ampek Angkek yang cenderung datar area-area tersebut memiliki kemiringan yang curam hingga sangat curam, curah hujan yang basah, ditutupi oleh batuan vulkanik, memiliki daerah perkebunan dan persawahan yang cukup luas serta ditutupi oleh tanah brown forest soil. Kelima parameter tersebut memiliki pengaruh yang tinggi berdasarkan Tabel 2.

Risiko longsor sedang mencakup 22% dari total luasan daerah penelitian yang terdapat pada sebagian besar Kecamatan Tanjung Mutiara, Ampek Nagari dan sebagian kecil Kecamatan Lubuk Basung yang cenderung merupakan kawasan yang datar dan rendah. Hal ini terjadi karena pada kawasan ini dipengaruhi oleh curah hujan yang tinggi jenis tanah yang mudah jenuh oleh air yakni brown forest soil dan organosol. Selain kawasan tersebut zona rawan sedang tersebar sebagian kecil di Kecamatan Kamang Magek, Kota Bukittinggi, Sungai Pua dan Banuhampu.



Gambar 2 Peta Zona Rawan Longsor Agam-Bukittinggi

Jika dibandingkan dengan historis kejadian longsor selama tahun 2019-2023, terdapat kesesuaian yang cukup baik antara peta kerawanan longsor yang diperoleh dengan frekuensi kejadian longsor yang dapat dilihat pada Gambar 2. Kecamatan Tanjung Raya, Malalak, IV Koto, Palupuh, Palembayan, Baso dan Kota Bukittinggi adalah kawasan yang memiliki kerawanan longsor tinggi hingga sangat tinggi yang diwakili oleh warna oranye hingga merah dengan frekuensi kejadian longsor lebih dari 10 kali dalam kurun waktu tersebut. Demikian juga terdapat kesesuaian dengan daerah dengan kategori rawan longsor sedang seperti Kecamatan Ampek Nagari dan Lubuk Basung yang diwakili oleh warna kuning dimana frekuensi kejadian longsor tercatat kurang dari 5 kali dalam kurun waktu tersebut.

Namun terdapat zona yang tidak sesuai dengan data historis longsor berada pada Tilatang Kamang, Ampek Angkek, Banuhampu, dan Sungai Pua. Kawasan ini tergolong zona rawan yang tinggi namun informasi mengenai kejadian longsor pada wilayah tersebut sangat minim. Meskipun begitu kawasan tersebut tetap memiliki risiko longsor karena berada di area dengan kemiringan yang curam serta memiliki jenis tanah dan jenis batuan dengan pengaruh yang cukup tinggi yaitu tanah andosol dan batuan vulkanik. Selain itu intensitas curah hujan pada kawasan tersebut yang cukup basah yang menambah risiko terjadinya longsor. Zona yang tidak sesuai berikutnya adalah pada Kecamatan Tanjung Mutiara. Kawasan ini tergolong zona rawan sedang namun pada data historis menyatakan kawasan ini belum pernah mengalami longsor. Karena kawasan ini merupakan dataran rendah sehingga tidak memiliki kemiringan yang curam seharusnya kawasan ini merupakan zona risiko longsor yang rendah. Berdasarkan peneliti sebelumnya oleh Fransiska dkk. (2017) kawasan Tanjung Mutiara merupakan kawasan yang tidak memiliki risiko bahaya longsor. Ketidaksesuaian hasil pemetaan dengan data historis dapat terjadi karena beberapa kemungkinan seperti data historis yang tidak lengkap serta kemungkinan tanah longsor pada kawasan tersebut belum terjadi. Meskipun begitu pemantauan pada kawasan tersebut tetap harus dilakukan karena selain faktor kemiringan lereng dan jenis tanah kejadian longsor juga dipengaruhi oleh pola curah hujan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa tingkat kerawanan longsor daerah Agam dan Bukittinggi terbagi atas tingkat kerawanan sedang, tinggi dan sangat tinggi. Kerawanan longsor sangat tinggi dan tinggi dengan total luas cakupan area mencapai 77,5% berada di Kecamatan Tanjung Raya, Matur, Malalak, IV Koto, Palupuh, Palembayan, Tilatang Kamang, Ampek Angkek, Kamang Magek, Banuhampu, Sungai Pua, Candung, Baso dan Kota Bukittinggi serta di sebagian Kecamatan

Ampek Nagari dan Lubuk Basung. Sedangkan daerah dengan tingkat kerawanan longsor sedang (22%) berada di besar Kecamatan Tanjung Mutiara, Ampek Nagari dan sebagian kecil Kecamatan Lubuk Basung. Terdapat kesesuaian yang cukup baik antara hasil pemetaan kerawanan longsor dengan data historis kejadian longsor tahun 2019-2023 yang dikeluarkan oleh BNPB.

DAFTAR PUSTAKA

- Adfy, D. M., & Marzuki. (2021). Analisis Kerawanan Bencana Longsor dari Karakteristik Hujan, Pergerakan Tanah dan Kemiringan Lereng di Kabupaten Agam. *Jurnal Fisika Unand*, 10(1), 8–14. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.1.8-14.2021>
- Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., Moghaddam, S. H. A., Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., Parsian, S., Wu, Q., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5326–5350. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>
- Dinas Komunikasi dan Informasi Kabupaten Agam. (2022). Profil Daerah. Pemerintah Kabupaten Agam. <https://ppid.agamkab.go.id/>
- Erfani, S., Naimullah, M., & Winardi, D. (2023). GIS Scoring and Overlay Methods for Mapping Landslide Vulnerability in Lebak Regency, Banten. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 20(1), 61. <https://doi.org/10.20527/flux.v20i1.15057>
- Feizizadeh, B., Shadman Roodposhti, M., Jankowski, P., & Blaschke, T. (2014). A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping. *Computers and Geosciences*, 73, 208–221. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.08.001>
- Feronika, Osawa, T., & Merit, I. N. (2023). Spatial Analysis of Landslide Potential on Agricultural in The Ayung Watershed, Bali Province. *Ecotrophic*, 17(2), 233–243.
- Fransiska, L., Tjahjono, B., & Gandasasmita, K. (2017). Studi Geomorfologi dan Analisis Bahaya Longsor di Kabupaten Agam, Sumatera Barat. *Buletin Tanah dan Lahan*, 1(1), 51–57.
- Grozavu, A., & Patriche, C. V. (2021). Mapping landslide susceptibility at national scale by spatial multi-criteria evaluation. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 1127–1152. <https://doi.org/10.1080/19475705.2021.1914752>
- Mukhlisa, A. N., Mappiasse, M. F., & Ashari, A. S. (2023). Penerapan Metode Skoring Dan Weighted Overlay Dalam Menaksir Tingkat Kerawanan Longsor Kecamatan Camba, Kabupaten Maros. *Gorontalo Journal of Forestry Research*, 6(2), 89–98. <https://doi.org/10.32662/gjfr.v6i2.3203>
- Nofirman. (1994). *Perilaku Material Geologis Padat*. Universitas Negeri Padang.
- Pusdalops PB Sumbar. (2022). Infografis Kejadian Bencana Provinsi Sumatera Barat. <https://ppid.sumbarprov.go.id/>
- Saha, A., Villuri, V. G. K., Bhardwaj, A., & Kumar, S. (2023). A Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) Approach for Landslide Susceptibility Mapping of a Part of Darjeeling District in North-East Himalaya, India. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/app13085062>
- Singh, P., Maurya, V., & Dwivedi, R. (2021). Pixel Based Landslide Identification Using Landsat 8 and GEE. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 43, 8444–8447. <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553358>
- Tadesse, L., Uncha, A., & Toma, T. (2024). Landslide Vulnerability Mapping Using Multi-criteria Decision-Making Approaches: in Gacho Babba District, Gamo Highlands Southern Ethiopia. *Discover Applied Sciences*, 6(2). <https://doi.org/10.1007/s42452-024-05693-9>