



Analisis Zonasi Permukiman Terhadap Risiko Longsor dan Banjir Hidrometeorologi Desa Sembalun Lawang, Gunung Rinjani

Wa Ode Annisha Munasari*, Guntur Bagus Pamungkas
Universitas Terbuka, Tangerang Selatan, Indonesia
*Corresponding author email: infoannishaode9@gmail.com

ABSTRACT

Sembalun Lawang Village is a highland area located on the slopes of Mount Rinjani that is prone to landslides and hydrometeorological flooding due to steep terrain, young volcanic materials, and high annual rainfall. This study aims to evaluate the suitability of settlement zoning in relation to landslide and hydrometeorological flood risks using a geospatial analysis approach. The data used include 8-meter resolution DEMNAS, 1:25,000 scale Rupa Bumi Indonesia (RBI) data, 2023 land use data, rainfall data for the 2015–2024 period, Sentinel-2 image interpretation, and field verification at 10 sample points. The analysis was conducted through slope classification, surface flow accumulation analysis, actual settlement distribution mapping, and spatial overlay to generate multi-risk-based settlement zoning recommendations. The results show that annual rainfall in the study area ranges from 3,000 to 4,000 mm/year, with 55% of the area exceeding 4,000 mm/year. Actual settlements are concentrated in lower areas with slopes of <15%, which are relatively stable geomorphologically but function as surface runoff accumulation zones. In contrast, some planned settlement zones are located on slopes of >25%, which have higher instability potential. The final zoning results indicate that the high-security/recommended zone covers 1,085.58 ha or 24.68% of the study area, the medium-security/conditional zone covers 934.62 ha or 21.25%, while the low-security/control zone dominates with 2,378.77 ha or 54.07% of the study area. These findings emphasize the need to evaluate settlement zoning through a risk-informed spatial planning approach by integrating slope stability and surface runoff dynamics to support safer, more adaptive, and sustainable settlement development.

Keywords: geospatial analysis, settlement zoning, DEM, spatial planning, Mount Rinjani

ABSTRAK

Desa Sembalun Lawang merupakan kawasan dataran tinggi di lereng Gunung Rinjani yang rentan terhadap longsor dan banjir hidrometeorologi akibat karakteristik lereng curam, material vulkanik muda, serta curah hujan tahunan tinggi. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kesesuaian zonasi permukiman terhadap risiko longsor dan banjir hidrometeorologi berbasis analisis geospasial. Data yang digunakan meliputi DEMNAS resolusi 8 meter, RBI skala 1:25.000, penggunaan lahan tahun 2023, curah hujan periode 2015–2024, interpretasi citra Sentinel-2, serta verifikasi lapangan pada 10 titik sampel. Analisis dilakukan melalui klasifikasi kemiringan lereng, akumulasi aliran permukaan, distribusi permukiman aktual, dan overlay spasial untuk menghasilkan rekomendasi zonasi permukiman berbasis multi-risiko. Hasil penelitian menunjukkan bahwa curah hujan tahunan di wilayah penelitian berkisar 3.000–4.000 mm/tahun, dengan 55% kawasan melebihi 4.000 mm/tahun. Permukiman aktual terkonsentrasi pada dataran bawah dengan kemiringan <15% yang relatif stabil secara geomorfologi, tetapi berfungsi sebagai zona akumulasi limpasan permukaan. Sebaliknya, sebagian zona permukiman rencana berada pada lereng >25% yang memiliki potensi ketidakstabilan lebih tinggi. Hasil zonasi akhir menunjukkan bahwa zona keamanan tinggi/zona rekomendasi mencakup 1.085,58 ha atau 24,68%, zona keamanan sedang/zona bersyarat mencakup 934,62 ha atau 21,25%, sedangkan zona keamanan rendah/zona pengendalian mendominasi seluas 2.378,77 ha atau 54,07% dari wilayah penelitian. Temuan ini menegaskan perlunya evaluasi zonasi permukiman berbasis risk-informed spatial planning dengan mengintegrasikan kestabilan lereng dan dinamika limpasan



permukaan untuk mendukung pengembangan permukiman yang lebih aman, adaptif, dan berkelanjutan.

Kata kunci: *analisis geospasial, zonasi permukiman, perencanaan ruang berbasis risiko, banjir hidrometeorologi, Gunung Rinjani*

Pendahuluan

Desa Sembalun Lawang merupakan kawasan lereng di kaki Gunung Rinjani yang memiliki topografi curam dan material vulkanik muda dengan tingkat kestabilan lereng yang relatif rendah terhadap pengaruh gaya gravitasi dan curah hujan (Herni et al., 2022; Maulidasih et al., 2022). Kondisi geomorfologi ini menjadikan wilayah tersebut rentan terhadap pergerakan tanah, terutama pada area dengan kemiringan lereng besar dan intensitas hujan tinggi (Shevchenko et al., 2024a). Selain itu, karakteristik hidrometeorologi berupa curah hujan tinggi berkontribusi terhadap peningkatan limpasan permukaan yang terakumulasi di bagian hilir, sehingga meningkatkan potensi banjir hidrometeorologi (Purwono & Mustika, 2020a).

Pendekatan geospasial berbasis *Digital Elevation Model (DEM)* banyak digunakan untuk mengidentifikasi kerawanan longsor melalui analisis kemiringan lereng, elevasi, serta integrasi dengan penggunaan lahan dan curah hujan (Ambarwulan et al., 2022a). Di sisi lain, banjir hidrometeorologi di kawasan pegunungan dipicu oleh curah hujan tinggi yang melebihi kapasitas infiltrasi tanah, sehingga menghasilkan limpasan permukaan yang terakumulasi pada area yang lebih rendah yang digunakan sebagai lahan hijau agricultural sekaligus pusat permukiman padat penduduk (Anusha et al., 2023b). Dalam konteks tata ruang, ketidaksesuaian antara penggunaan lahan aktual dan arahan perencanaan sering terjadi, terutama di wilayah yang mengalami perkembangan pesat seperti kawasan lereng Rinjani, sehingga meningkatkan kerentanan terhadap risiko bencana (Ramadhan & Muhamad Kurniawan, 2021; Rohiani, 2021a).

Dalam perkembangannya, Sembalun Lawang mengalami pertumbuhan aktivitas permukiman, pertanian, dan pariwisata yang cukup pesat, sehingga tekanan terhadap pemanfaatan ruang semakin meningkat (Umar et al., 2025). Hasil pengamatan spasial menunjukkan adanya ketidaksesuaian antara zonasi permukiman dalam dokumen tata ruang dengan pola permukiman aktual di lapangan. Permukiman masyarakat cenderung berkembang pada area rendah yang secara hidrologis merupakan zona akumulasi aliran permukaan, sehingga meningkatkan eksposur terhadap banjir limpasan (Wa Ode Annisha Munasari & Guntur Bagus Pamungkas, 2025b). Di sisi lain, sebagian zonasi permukiman rencana berada pada lereng yang lebih curam dengan potensi longsor yang lebih tinggi.

Namun demikian, penelitian sebelumnya umumnya masih berfokus pada identifikasi satu jenis bahaya secara terpisah dan belum secara spesifik mengevaluasi kesesuaian zonasi permukiman rencana terhadap pola permukiman aktual, serta belum mengintegrasikan analisis geospasial yang mencakup elevasi, penggunaan lahan, dan distribusi permukiman secara simultan serta pemahaman tentang karakteristik tanah (AbdelRahman et al., 2022a).



Berangkat dari kondisi tersebut, penelitian ini menjawab beberapa rumusan masalah antara lain tentang bagaimana kesesuaian zonasi permukiman rencana terhadap kondisi geomorfologi dan hidrologi eksisting, distribusi spasial permukiman aktual terhadap zona rawan longsor dan banjir, serta rekomendasi zonasi permukiman berbasis pendekatan multi-risiko pada kawasan pegunungan vulkanik. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi analisis multi-risiko berbasis geomorfologi, hidrologi, karakteristik tanah vulkanik muda, dan pola permukiman aktual untuk mengevaluasi kesesuaian zonasi permukiman pada kawasan pegunungan vulkanik. Pendekatan ini menghasilkan rekomendasi zonasi berbasis risk-informed spatial planning yang belum banyak diterapkan pada wilayah lereng Gunung Rinjani.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan evaluatif berbasis analisis spasial kuantitatif melalui integrasi parameter topografi, hidrologi, penggunaan lahan, dan distribusi permukiman untuk mengidentifikasi tingkat kesesuaian kawasan hunian pada lingkungan pegunungan vulkanik. Data yang digunakan meliputi *Digital Elevation Model (DEM)* Nasional (DEMNAS) dengan resolusi spasial 8 meter, data Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:25.000, peta penggunaan lahan tahun 2023, serta data curah hujan periode 2015–2024. Selain itu, data distribusi permukiman diperoleh melalui interpretasi citra satelit resolusi menengah (*Sentinel-2*) dan verifikasi lapangan.

Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak ArcGIS Pro untuk analisis spasial. Analisis meliputi derivasi kemiringan lereng dari DEM, analisis morfometri permukaan menggunakan *Topographic Position Index (TPI)*, serta *overlay* antara data elevasi, penggunaan lahan, dan distribusi permukiman untuk menilai kesesuaian zonasi. Analisis kerawanan banjir pada penelitian ini menggunakan pendekatan spasial berbasis curah hujan, kemiringan lereng, dan pola limpasan permukaan tanpa simulasi debit limpasan kuantitatif.

Verifikasi lapangan dilakukan secara terbatas melalui observasi langsung pada 10 titik sampel permukiman yang tersebar di wilayah penelitian pada bulan November 2025. Observasi difokuskan pada kondisi topografi, penggunaan lahan, dan karakteristik tanah. Pengukuran parameter tanah dilakukan menggunakan *Soil Parameter Detector* pada kedalaman ± 45 cm untuk mendukung interpretasi kondisi tanah terhadap potensi infiltrasi dan limpasan.

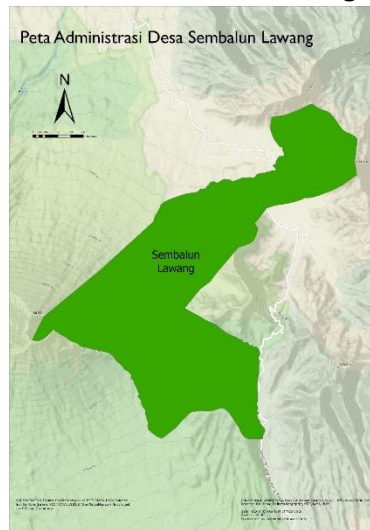
Pembahasan

Karakteristik Spasial Wilayah Penelitian

Secara spasial, wilayah Desa Sembalun Lawang memiliki orientasi memanjang dengan arah dominan utara–selatan, di mana konfigurasi batas wilayahnya banyak dipengaruhi oleh kondisi topografi lereng di sekitarnya.

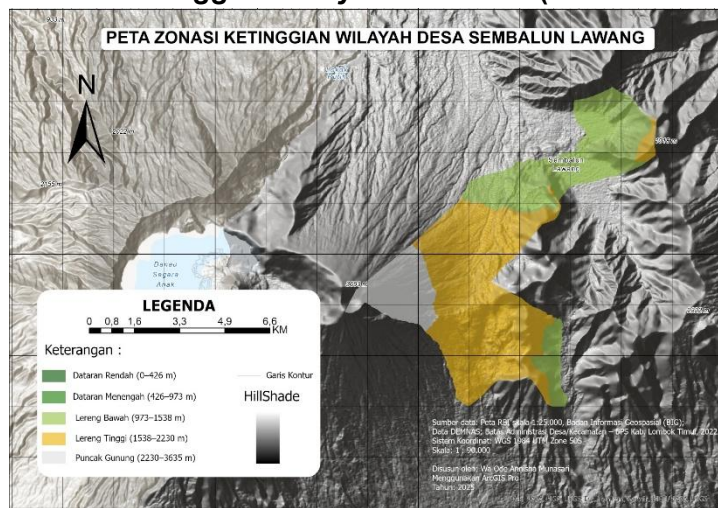


Gambar 1. Peta Administrasi Desa Sembalun Lawang



Sumber: Basemap Topographic, RBI BIG, dan hasil olahan penulis, 2026

Gambar 2. Peta Zonasi Ketinggian Wilayah Penelitian (Elevasi/DEM)



Sumber: DEMNAS BIG, hasil olahan penulis, 2026

Hasil pemetaan ketinggian menunjukkan bahwa wilayah penelitian berada pada bentang dataran tinggi dengan variasi elevasi berkisar antara ± 400 meter hingga lebih dari 2.200 mdpl (McDermott et al., 2025a). Area permukiman umumnya berada pada ketinggian menengah yang lebih landai, sedangkan bagian barat dan selatan desa didominasi lereng curam sebagai bagian dari bentang alam Gunung Rinjani. Variasi ketinggian ini memengaruhi pola penggunaan lahan, kondisi iklim lokal, serta tingkat kerentanan wilayah terhadap bencana hidrometeorologi seperti longsor.

Jenis Tanah dan Sifat Fisik Tanah

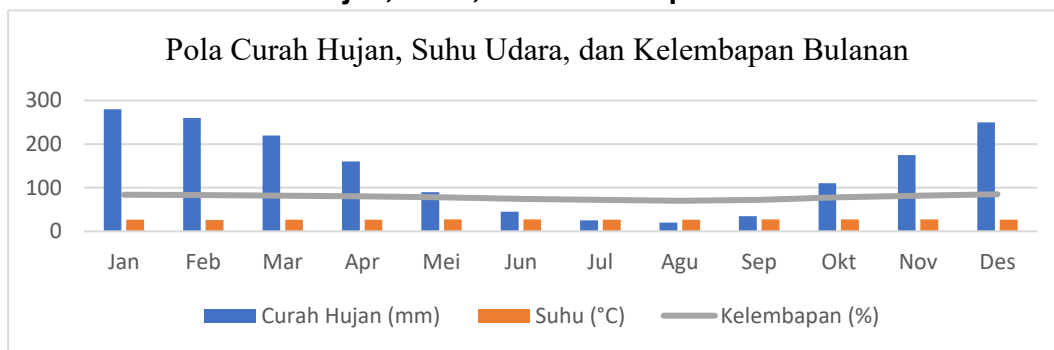
Hasil pengukuran parameter tanah menggunakan *Soil Parameter Detector* pada area permukiman menunjukkan bahwa kondisi tanah didominasi oleh karakteristik vulkanik muda dengan tekstur relatif porus dan kesuburan rendah. Nilai suhu tanah relatif stabil



berkisar $22,7\text{--}23,5^{\circ}\text{C}$, sementara kelembapan tanah bervariasi antara rendah hingga sedang ($9,8\text{--}32,5\%$), yang menunjukkan kemampuan infiltrasi cukup baik namun berpotensi meningkatkan limpasan saat curah hujan tinggi (Ermolieva et al., 2022a). Nilai pH tanah berkisar netral hingga agak asam ($6,3\text{--}7,0$), menunjukkan kondisi tanah yang belum mengalami pelapukan intensif (Paul & Rakshit, 2022a). Kandungan unsur hara seperti nitrogen dan kalium tergolong rendah hingga sangat rendah, serta nilai konduktivitas listrik (EC) yang rendah menunjukkan minimnya kandungan mineral terlarut. Secara keseluruhan, karakteristik tanah ini mencerminkan tanah vulkanik muda dengan daya dukung sedang, namun memiliki potensi peningkatan limpasan permukaan terutama pada kondisi jenuh air, yang dapat berkontribusi terhadap kerentanan banjir hidrometeorologi pada kawasan dataran bawah (Cotler et al., 2024a).

Hasil Analisis Kerawanan Hidrometeorologi

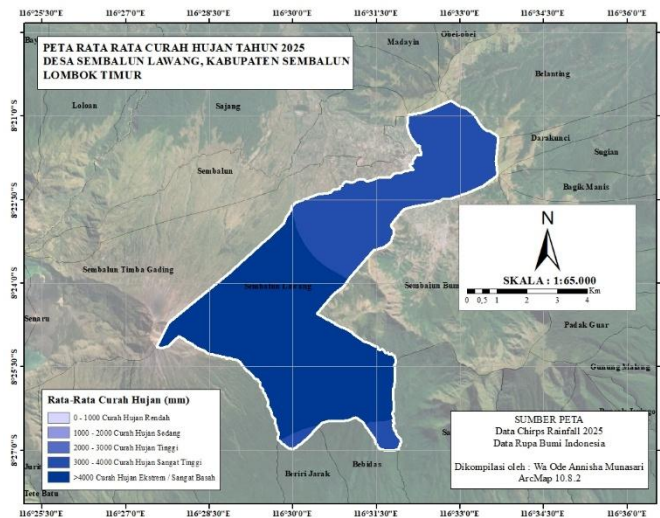
Gambar 3. Grafik Curah Hujan, Suhu, dan Kelembapan Bulanan



Sumber: BMKG, 2024; hasil olahan penulis, 2026

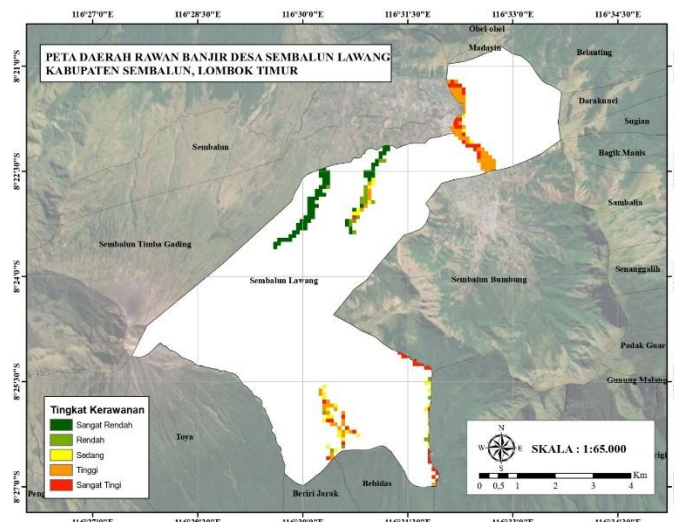
Wilayah penelitian memiliki intensitas curah hujan yang tinggi dengan puncak hujan terjadi pada periode Januari–Februari, mencapai kisaran 260–280 mm/bulan, sedangkan periode kemarau terjadi pada bulan Juli–Agustus dengan intensitas yang relatif rendah. Pola ini menunjukkan karakteristik iklim monsun dengan distribusi hujan yang tidak merata sepanjang tahun (Gupta et al., 2023a).

Tingginya curah hujan tahunan yang berkisar antara 3.000–4.000 mm/tahun berkontribusi signifikan terhadap peningkatan limpasan permukaan, terutama pada kawasan dengan topografi curam seperti lereng Gunung Rinjani. Kondisi ini memperkuat potensi akumulasi aliran pada dataran bawah, sehingga meningkatkan kerentanan terhadap banjir hidrometeorologi (Yang et al., 2024a). Oleh karena itu, curah hujan menjadi parameter utama yang perlu dipertimbangkan dalam evaluasi kesesuaian zonasi permukiman di wilayah penelitian.

**Gambar 4. Peta Rata-Rata Curah Hujan**

Sumber: BMKG, BIG, dan hasil olahan penulis, 2025

Hasil analisis menunjukkan bahwa wilayah dengan curah hujan >4.000 mm/tahun terkonsentrasi pada bagian kemiringan lereng >25% di wilayah penelitian. Sementara itu, zona kerawanan banjir tinggi berada pada dataran rendah dan jalur akumulasi aliran. Pola ini dipengaruhi oleh kondisi topografi dataran tinggi di sekitar Gunung Rinjani yang memicu hujan orografis (Djamaluddin et al., 2025a).

Gambar 5. Peta Kerawanan Banjir Desa Sembalun Lawang

Sumber: data DEMNAS, BMKG, RBI BIG, dan hasil olahan penulis, 2025

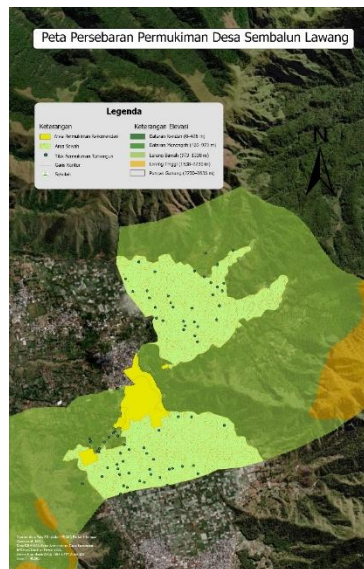
Pemetaan kerawanan banjir berbasis GIS dengan integrasi parameter curah hujan dan topografi efektif dalam mengidentifikasi zona akumulasi aliran pada dataran rendah (Mohammed, Hussein, & Abood, 2024). Akumulasi aliran pada dataran bawah meningkatkan potensi genangan, sehingga permukiman pada zona tersebut memiliki kerentanan lebih tinggi terhadap banjir hidrometeorologi. Temuan ini menegaskan



perlunya evaluasi zonasi permukiman berbasis integrasi faktor topografi dan hidrologi (Le et al., 2026a).

Hasil Persebaran Permukiman dan Kesesuaian Zonasi

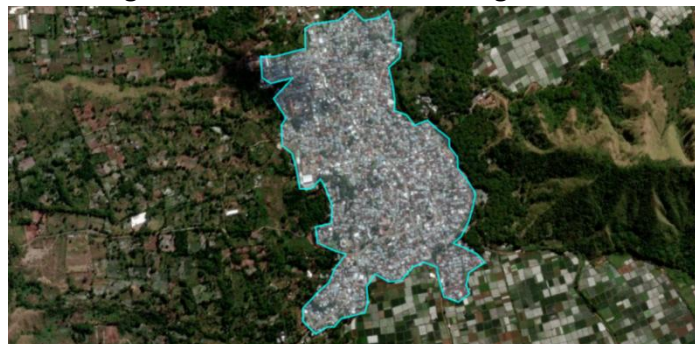
Gambar 6. Peta Persebaran Permukiman Desa Sembalun Lawang



Sumber: Citra Sentinel-2, RBI BIG, dan hasil digitasi penulis, 2025

Hasil interpretasi citra menunjukkan bahwa permukiman aktual terkonsentrasi pada dataran bawah dengan kemiringan $<15\%$. Sementara itu, sebagian zona permukiman rencana berada pada lereng $>25\%$. Kondisi ini menunjukkan adanya perbedaan lokasi antara pola permukiman eksisting dan arahan zonasi permukiman (Peker et al., 2024a; Zhou et al., 2021a). Zona permukiman rencana yang berada pada lereng yang lebih curam dengan potensi longsor yang lebih tinggi, kurang sesuai untuk pengembangan permukiman. Karena berpotensi terjadinya *trade-off* risiko antara bahaya longsor dan banjir dalam pemanfaatan ruang, dalam studi perencanaan berbasis risiko di wilayah pegunungan (Khodaei et al., 2025a).

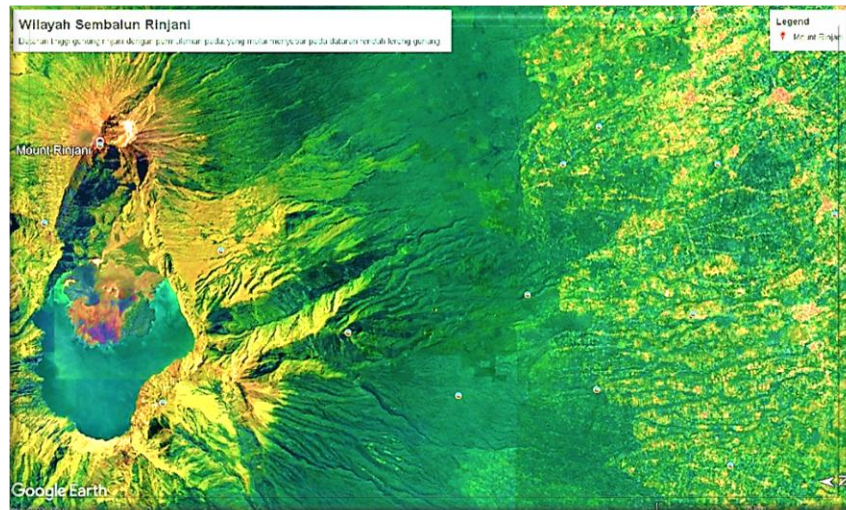
Gambar 7. Kawasan Permukiman Padat Pada Dataran Rendah sebagai Zona Prioritas Penataan Ruang di Desa Sembalun Lawang



Sumber: Digitasi manual penulis dari basemap imagery ArcGIS Pro, 2026



Gambar 8. Sebaran Kawasan Permukiman Padat pada Dataran Rendah dan Wilayah Lereng Gunung di Desa Sembalun Lawang



Sumber: Google Earth Pro, 2025; hasil interpretasi penulis

Hasil interpretasi citra menunjukkan bahwa kawasan permukiman padat di Desa Sembalun Lawang terkonsentrasi pada dataran rendah dan kaki lereng Gunung Rinjani. Pola sebaran tersebut memperlihatkan bahwa perkembangan permukiman aktual cenderung mengikuti area yang relatif landai dan terhubung dengan jaringan akses lokal.

Implikasi Spasial terhadap Perencanaan Permukiman

Dominasi permukiman pada dataran rendah menunjukkan adanya preferensi pemanfaatan ruang pada area yang lebih mudah diakses dan relatif stabil secara topografi. Namun, dalam konteks hidrologi, dataran rendah tersebut berfungsi sebagai zona akumulasi aliran permukaan, sehingga memiliki potensi paparan lebih tinggi terhadap banjir limpasan. Kondisi ini menunjukkan adanya perbedaan antara kesesuaian topografi dan kesesuaian hidrologi dalam penentuan lokasi permukiman.

Temuan ini mengindikasikan perlunya evaluasi zonasi permukiman berbasis pendekatan multi-risiko, dengan mempertimbangkan integrasi antara kemiringan lereng, pola limpasan permukaan, dan distribusi permukiman eksisting. Dalam perspektif perencanaan wilayah dan kota, pendekatan ini penting untuk mengarahkan perkembangan permukiman ke zona yang lebih aman secara geomorfologi dan hidrologi.

Hasil Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan untuk memverifikasi hasil analisis geospasial terkait kondisi topografi, pola permukiman, dan potensi kerawanan banjir di Desa Sembalun Lawang.



Gambar 9. Kondisi Dataran Lereng dan Permukiman Desa Sembalun Lawang



Sumber: Dokumentasi lapangan penulis, November 2025

Hasil validasi lapangan (Titik validasi pada koordinat **8°21'42.9"S; 116°31'02.4"E**) menunjukkan bahwa permukiman di Desa Sembalun Lawang berkembang dominan pada dataran bawah dan kaki lereng dengan kemiringan relatif landai (<15%). Kondisi ini mengonfirmasi hasil interpretasi citra bahwa permukiman aktual cenderung mengikuti area yang relatif mudah diakses dan telah berkembang sebagai ruang hunian serta lahan pertanian. Namun, posisi permukiman pada dataran bawah menunjukkan adanya potensi paparan terhadap limpasan permukaan, terutama saat curah hujan tinggi.

Gambar 10. Titik Validasi Zona Lereng dengan Potensi Longsor Tinggi pada Tanah Vulkanik Muda (8°21'42.9"S; 116°31'02.4"E)



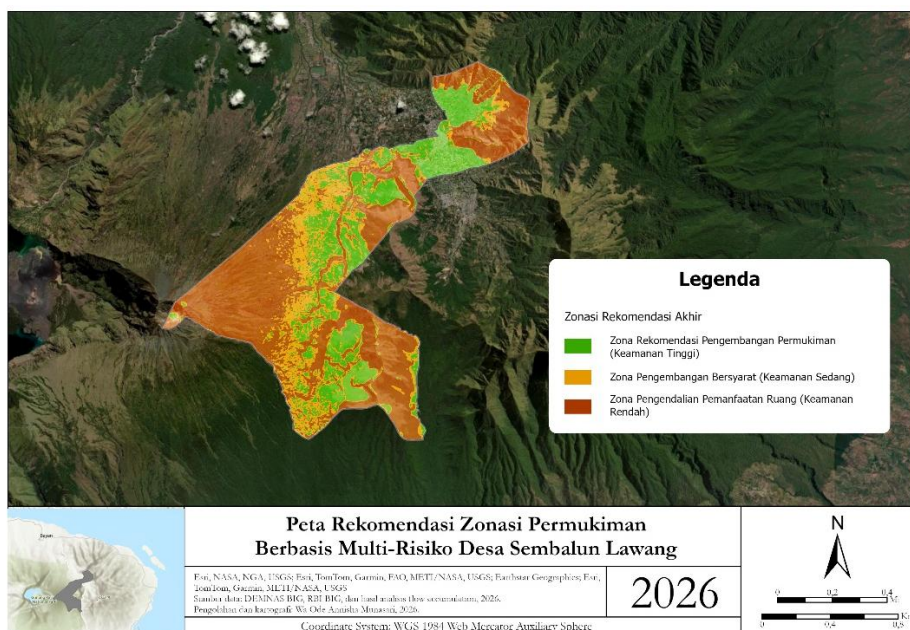
Sumber: Dokumentasi lapangan penulis, November 2025

Titik validasi pada koordinat **8°21'42.9"S; 116°31'02.4"E** menunjukkan area lereng dengan karakteristik tanah vulkanik muda yang belum terkonsolidasi dan kemiringan relatif tinggi, sehingga memiliki tingkat kerentanan longsor yang lebih besar. Dalam konteks perencanaan permukiman, kawasan ini lebih sesuai diarahkan sebagai zona pengendalian pemanfaatan ruang dan area terbatas untuk pengembangan hunian.

Secara perencanaan wilayah, hasil validasi lapangan menegaskan perlunya *diferensiasi* arahan ruang antara zona hunian eksisting pada dataran bawah yang memerlukan peningkatan infrastruktur *drainase* dan zona lereng yang perlu dibatasi pengembangannya untuk meminimalkan risiko multi-bencana

Rekomendasi Zonasi Permukiman Berbasis Multi-Risiko

Gambar 11. Peta Rekomendasi Zonasi Permukiman Berbasis Multi-Risiko Desa Sembalun Lawang



Tabel 1. Luas dan Persentase Rekomendasi Zonasi Permukiman Berbasis Multi-Risiko

Kelas Zonasi	Luas (ha)	Persentase (%)	Arahan Perencanaan
Zona Rekomendasi (Keamanan Tinggi)	1.085,58	24,68	Pengembangan permukiman terbatas dan terkendali
Zona Bersyarat (Keamanan Sedang)	934,62	21,25	Pengembangan bersyarat melalui peningkatan drainase dan pengendalian kepadatan
Zona Pengendalian (Keamanan Rendah)	2.378,77	54,07	Pembatasan pengembangan hunian baru dan pengendalian pemanfaatan ruang
Total	4.398,97	100,00	-

Sumber: Hasil overlay kemiringan lereng dan akumulasi aliran permukaan berbasis DEMNAS, Tahun 2026.

Berdasarkan hasil overlay spasial, rekomendasi zonasi permukiman berbasis multi-risiko di Desa Sembalun Lawang terbagi menjadi tiga kelas, yaitu keamanan tinggi/zona rekomendasi, keamanan sedang/zona bersyarat, dan keamanan rendah/zona pengendalian. Zona keamanan tinggi mencakup **1.085,58 ha** atau **24,68%** dari wilayah



penelitian, sedangkan zona keamanan sedang mencakup **934,62 ha** atau **21,25%**. Sementara itu, zona keamanan rendah/zona pengendalian merupakan kelas terluas, yaitu **2.378,77 ha** atau **54,07%** dari wilayah penelitian.

Dominasi zona pengendalian menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah Desa Sembalun Lawang memiliki keterbatasan fisik dan hidrologis untuk pengembangan permukiman baru. Area tersebut dipengaruhi oleh kombinasi kemiringan lereng curam dan/atau akumulasi aliran permukaan yang tinggi. Oleh karena itu, arahan pengembangan permukiman perlu dilakukan secara selektif, dengan memprioritaskan zona keamanan tinggi sebagai area pengembangan terbatas, sedangkan zona keamanan sedang diarahkan sebagai kawasan bersyarat yang memerlukan peningkatan sistem drainase, pengendalian kepadatan bangunan, dan mitigasi limpasan.

Dalam perspektif perencanaan wilayah dan kota, peta rekomendasi ini memperkuat penerapan **risk-informed spatial planning**, karena arahan zonasi permukiman tidak hanya ditentukan oleh kestabilan lereng, tetapi juga oleh dinamika hidrologi berupa akumulasi aliran permukaan. Dengan demikian, peta rekomendasi zonasi akhir dapat digunakan sebagai dasar penataan ruang permukiman yang lebih adaptif terhadap risiko longsor dan banjir hidrometeorologi.

Simpulan

Penelitian ini menunjukkan adanya ketidaksesuaian yang signifikan antara zonasi permukiman dalam dokumen tata ruang dengan pola permukiman aktual masyarakat di Desa Sembalun Lawang. Permukiman aktual berkembang dominan pada dataran bawah dengan kemiringan relatif landai yang secara geomorfologi lebih stabil terhadap longsor, namun secara hidrologis memiliki kerentanan lebih tinggi terhadap banjir hidrometeorologi karena berfungsi sebagai zona akumulasi limpasan permukaan. Sebaliknya, sebagian zona permukiman rencana berada pada lereng dengan kemiringan >25% yang memiliki potensi ketidakstabilan lereng lebih tinggi.

Hasil zonasi rekomendasi berbasis multi-risiko menunjukkan bahwa zona keamanan tinggi/zona rekomendasi mencakup **1.085,58 ha** atau **24,68%** wilayah penelitian, zona keamanan sedang/zona bersyarat mencakup **934,62 ha** atau **21,25%**, sedangkan zona keamanan rendah/zona pengendalian mencakup **2.378,77 ha** atau **54,07%**. Dominasi zona pengendalian menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah Desa Sembalun Lawang memiliki keterbatasan fisik dan hidrologis untuk pengembangan permukiman baru secara ekspansif.

Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan perencanaan ruang di kawasan pegunungan vulkanik tidak dapat hanya berfokus pada satu parameter bahaya, tetapi perlu mengintegrasikan analisis multi-risiko secara simultan, khususnya antara kestabilan lereng dan dinamika limpasan permukaan. Dalam konteks perencanaan wilayah dan kota, hasil ini memperkuat pentingnya penerapan **risk-informed spatial planning** dalam evaluasi dan penyesuaian zonasi permukiman.



Secara operasional, kawasan permukiman eksisting pada dataran bawah perlu diprioritaskan untuk peningkatan sistem drainase berbasis lanskap, pengendalian limpasan permukaan, dan penataan kepadatan bangunan. Sementara itu, zona lereng dengan kemiringan >25% perlu diarahkan sebagai kawasan pengendalian pemanfaatan ruang dan pembatasan pengembangan hunian baru.

Keterbatasan penelitian ini terletak pada penggunaan analisis hidrologi yang masih berbasis pendekatan spasial deskriptif tanpa simulasi debit limpasan secara kuantitatif, serta keterbatasan jumlah titik validasi lapangan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan mengintegrasikan pemodelan hidrologi kuantitatif dan simulasi limpasan permukaan untuk meningkatkan akurasi evaluasi kesesuaian zonasi permukiman serta mendukung perumusan kebijakan penataan ruang pada kawasan rawan multi-bencana.

Daftar Pustaka

- AbdelRahman, M. A. E., Saleh, A. M., & Arafat, S. M. (2022). Assessment of land suitability using a soil-indicator-based approach in a geomatics environment. *Scientific Reports*, 12(1), 18113. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22727-7>
- Alshammari, E., Rahman, A. A., Rainis, R., Seri, N. A., & Fuzi, N. F. A. (2023). The impacts of land use changes in urban hydrology, runoff and flooding: A review. *Current Urban Studies*, 11(01), 120–141. <https://doi.org/10.4236/cus.2023.111007>
- Ambarwulan, W., Nahib, I., Widiatmaka, W., Dewi, R. S., Munajati, S. L., Suwarno, Y., Sutrisno, D., & Suprajaka, S. (2022). Delineating suitable site for settlement in potential earthquake vulnerable areas using spatial multi-criteria decision analysis in the Sukabumi regency, Indonesia. *Journal of Water and Land Development*, 53, 10–21. <https://doi.org/10.24425/jwld.2022.140775>
- Anusha, B. N., Babu, K. R., Kumar, B. P., Sree, P. P., Veeraswamy, G., Swarnapriya, Ch., & Rajasekhar, M. (2023). Integrated studies for land suitability analysis towards sustainable agricultural development in semi-arid regions of AP, India. *Geosystems and Geoenvironment*, 2(2), 100131. <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2022.100131>
- Cotler, H., Cram, S., Prado, B., Peña, V., & Lucio, L. (2024). Soil ecosystem services in urban parks as a basis for better urban planning: The case of Mexico City. *Spanish Journal of Soil Science*, 14, 13398. <https://doi.org/10.3389/sjss.2024.13398>
- Djamaluddin, J., Zubair, H., Dariati, T., Demmalino, E. B., Iswoyo, H., & Arif, S. (2025). Urban landscape and surface runoff management: A review. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 15(6), 30501–30507. <https://doi.org/10.48084/etasr.14979>
- Ermolieva, T., Havlik, P., Frank, S., Kahil, T., Balkovic, J., Skalsky, R., Ermoliev, Y., Knopov, P. S., Borodina, O. M., & Gorbachuk, V. M. (2022). A risk-informed decision-making framework for climate change adaptation through robust land use and irrigation planning. *Sustainability*, 14(3), 1430. <https://doi.org/10.3390/su14031430>
- Gupta, S., Su, Z., Boers, N., Kurths, J., Marwan, N., & Pappenberger, F. (2023). Interconnection between the Indian and the East Asian summer monsoon: Spatial synchronization patterns of extreme rainfall events. *International Journal of Climatology*, 43(2), 1034–1049. <https://doi.org/10.1002/joc.7861>



- Herni, H., Boceng, A., & Robbo, A. (2022). Identifikasi daerah rawan longsor dengan menggunakan sistem informasi geografis di Kecamatan Mangkutana Kabupaten Luwu Timur. *AGrotekMAS Jurnal Indonesia: Jurnal Ilmu Peranian*, 3(1), 30–40. <https://doi.org/10.33096/agrotekmas.v3i1.199>
- Khodaei, H., Nasiri Saleh, F., Nobakht Dalir, A., & Zarei, E. (2025). Future flood susceptibility mapping under climate and land use change. *Scientific Reports*, 15(1), 12394. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-97008-0>
- Le, X.-H., Koyama, N., & Yamada, T. (2026). Impacts of elevation bias and topographic uncertainty on flood modeling: model robustness and floodplain sensitivity mapping in a lowland River Basin. *Journal of Hydrology*, 666, 134832. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.134832>
- Maulidasih, B. T., Bustan, B., & Sukartono, S. (2022). Identifikasi potensi longsor berbasis sistem informasi geografis di Kecamatan Sembalun Kabupaten Lombok Timur. *Journal of Soil Quality and Management*, 1(1), 35–45. <https://doi.org/10.29303/jsqm.v1i1.13>
- McDermott, R., Sagala, S., Susetyo, N. A., Insan, A., Harahap, W. D. P., Indrarini, A., & Azhari, D. (2025). The role of digital participation platforms in risk-informed development: A case study of Surabaya, Indonesia. *Progress in Disaster Science*, 26, 100430. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2025.100430>
- Mohammed, Z. T., Hussein, L. Y., & Abood, M. H. (2024). Potential flood hazard mapping based on GIS and analytical hierarchy process. *Journal of Water Management Modeling*, 32. <https://doi.org/10.14796/JWMM.C528>
- Paul, S., & Rakshit, A. (2022). Classification and functional characteristics of urban soil. In *Soils in Urban Ecosystem* (pp. 11–23). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8914-7_2
- Peker, İ. B., Gülbaz, S., Demir, V., Orhan, O., & Beden, N. (2024). Integration of HEC-RAS and HEC-HMS with GIS in 10.3390/su16031226. *Sustainability*, 16(3), 1226. <https://doi.org/10.3390/su16031226>
- Purwono, R., & Mustika, L. (2020). Kajian kondisi lanskap pegunungan. *Sabua : Jurnal Lingkungan Binaan Dan Arsitektur*, 9(1), 59–69.
- Ramadan, M. S., Almurshidi, A. H., Razali, S. F. M., Ramadan, E., Tariq, A., Bridi, R. M., Rahman, M. A., Albedwawi, S., Alshamsi, M., Alshamisi, M., Alrashdi, S., Alnaqbi, S., Alhammadi, H., & Al Hosani, N. (2025). Spatial decision-making for urban flood vulnerability: A geomatics approach applied to Al-Ain City, UAE. *Urban Climate*, 59(3), 102297. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102297>
- Ramadhan, A., & Muhamad Kurniawan. (2021). Evaluasi pengembangan tata ruang wilayah terhadap bencana tanah longsor di Kecamatan Cisarua, Kabupaten Bogor. *Jurnal Geografi, Edukasi Dan Lingkungan (JGEL)*, 5(2), 73–83. <https://doi.org/10.22236/jgel.v5i2.7019>
- Rohiani, A. (2021). Perencanaan penataan ruang desa berbasis potensi desa sebagai kendali pembangunan desa yang terarah dan berkelanjutan. *Journal of Regional and Rural Development Planning*, 5(1), 15–27. <https://doi.org/10.29244/jp2wd.2021.5.1.15-27>
- Shevchenko, V., Lukashevich, A., Taniushkina, D., Bulkin, A., Grinis, R., Kovalev, K., Narozhnaia, V., Sotiriadi, N., Krenke, A., & Maximov, Y. (2024). Climate change impact on agricultural land suitability: An interpretable machine learning-based eurasia case study. *IEEE Access*, 12, 15748–15763. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3358865>
- Umar, Y. P., Lestari, T. F. I., & Anugroho, F. (2025). Analisis penggunaan lahan pada tingkat rawan bencana erosi berbasis di Taman Nasional Gunung Rinjani Nusa



- Tenggara Barat. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 12(3), 226–240.
- Wa Ode Annisha Munasari, & Guntur Bagus Pamungkas. (2025). Bridging hydrology and environmental geography in disaster rehabilitation. *Proceeding International Seminar of Science and Technology*, 139–146.
<https://doi.org/10.33830/isst.v4i1.5243>
- Yang, L., Yang, Y., Shen, Y., Yang, J., Zheng, G., Smith, J., & Niyogi, D. (2024). Urban development pattern's influence on extreme rainfall occurrences. *Nature Communications*, 15(1), 3997. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48533-5>
- Ye, S., Liu, L., Li, J., Pan, H., Li, W., & Ran, Q. (2023). From rainfall to runoff: The role of soil moisture in a mountainous catchment. *Journal of Hydrology*, 625, 130060. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130060>
- Zhou, Q., Su, J., Arnbjerg-Nielsen, K., Ren, Y., Luo, J., Ye, Z., & Feng, J. (2021). A GIS-based hydrological modeling approach for rapid urban flood hazard assessment. *Water*, 13(11), 1483. <https://doi.org/10.3390/w13111483>