



Zonasi Kerentanan Tanah Longsor dan Validasi dengan Metode Frequency Ratio Daerah Donorejo, Kecamatan Kaligesing, Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah

Puji Pratiknyo^{1*)}, Muhammad Rizqy Bayu Waskita¹⁾

¹⁾ Geological Engineering, Faculty of Mineral Technology, UPN Veteran Yogyakarta

*E-mail: pujipratiknyo@gmail.com

ABSTRAK

Tanah longsor merupakan bencana alam yang sulit diprediksi kapan serta dimana akan terjadi, sehingga sering menimbulkan kerugian. Daerah Donorejo dan sekitarnya, telah tercatat sebanyak 92 kejadian tanah longsor sepanjang tahun 2024 (BPBD DIY, 2024). Penyebab utama tanah longsor di daerah tersebut adalah curah hujan yang tinggi, terutama pada musim hujan. Untuk meminimalisasi dampak yang ditimbulkan, dilakukan pemetaan kerentanan tanah longsor dengan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Salah satu metode yang digunakan adalah metode *frequency ratio*, yaitu metode yang menganalisis hubungan antara kejadian tanah longsor dengan parameter pengontrolnya. Metode ini diterapkan menggunakan *Geographic Information System* (GIS) serta beberapa data seperti peta geologi dan lainnya. Data tersebut digunakan untuk memetakan parameter seperti jenis batuan, *buffer* sungai dan struktur, tata guna lahan, kemiringan lereng, dan *stream density*. Seluruh parameter diubah ke format raster 30x30 meter dan di-*overlay* untuk menghasilkan nilai *Landslide Hazard Index* (LHI), yang diklasifikasikan ke dalam lima zona kerentanan: tidak rentan, sedikit rentan, cukup rentan, rentan, dan sangat rentan. Hasil analisis menunjukkan bahwa satuan batuan memberikan pengaruh paling besar terhadap model. Model ini kemudian dievaluasi dengan menghitung area dibawah kurva laju perubahan dengan metode *Area Under Curve* (AUC), menghasilkan nilai akurasi sebesar 76,9%, yang menunjukkan bahwa model ini cukup efektif untuk mitigasi bencana longsor di wilayah penelitian

Kata Kunci: *area under curve*; donorejo; *frequency ratio*; longsor; parameter

ABSTRACT

Landslides are natural disasters that are difficult to predict when and where they will occur, often resulting in significant losses. The Donorejo area and its surroundings have recorded 92 landslide incidents throughout 2024 (BPBD DIY, 2024). The primary cause of landslides in this area is heavy rainfall, particularly during the rainy season. To minimize the impacts caused, landslide vulnerability mapping was conducted using both qualitative and quantitative approaches. One of the methods used is the frequency ratio method, which analyzes the relationship between landslide occurrences and their controlling parameters. This method was applied using Geographic Information System (GIS) along with data such as geological maps and others. The data was used to map parameters such as rock type, river buffers and structures, land use, slope gradient, and stream density. All parameters were converted to a 30x30-meter raster format and overlaid to generate the Landslide Hazard Index (LHI) values, which were classified into five vulnerability zones: not vulnerable, slightly vulnerable, moderately vulnerable, vulnerable, and highly vulnerable. The analysis results show that rock units have the greatest influence on the model. The model was then evaluated by calculating the area under the rate of change curve using the Area Under Curve (AUC) method, resulting in an accuracy value of 76.9%, indicating that this model is quite effective for landslide mitigation in the study area

Keywords: *area under curve*; donorejo; *frequency ratio*; landslide; parameters

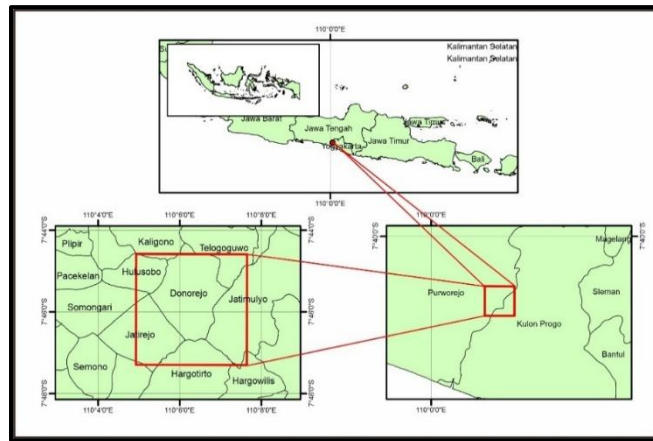
I. PENDAHULUAN

Longsor massa adalah suatu peristiwa geologi yang terjadi karena adanya suatu pergerakan masa batuan atau tanah pada suatu lereng yang dibagi menjadi beberapa tipe dan jenis. Longsor adalah salah satu bentuk dari gerak massa tanah, batuan, dan runtutan batuan/tanah yang terjadi seketika yang bergerak menuju lereng-lereng bawah yang dikendalikan oleh gaya gravitasi dan meluncur dari atas lapisan kedap yang jenuh air (Brook dkk., 1991). Salah satu cara yang paling efisien dan ekonomis untuk menyediakan perencanaan dalam pengelolaan lahan, pencegahan bencana, dan mitigasi bencana tanah longsor adalah menemukan kerentanan gerakan tanah. Ini berlaku meskipun waktu dan lokasi terjadinya tanah longsor sulit diprediksi pada awalnya, tetapi evaluasi kemungkinan kerentanan suatu terhadap tanah longsor tetap

dapat dilakukan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk membuat peta kerentanan adalah menggunakan metode *frequency ratio*. Metode *frequency ratio* didasarkan pada hubungan antara lokasi kejadian tanah longsor dan faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya tanah longsor (Lee dkk., 2004). Parameter-parameter pengontrol tanah longsor yang digunakan pada penelitian ini yaitu satuan batuan, kemiringan lereng, *buffer* dari sungai, *buffer* dari struktur, *stream density*, dan tata guna lahan. Parameter-parameter ini nantinya akan dihitung nilai *frequency ratio* dan *prediction rate*, kemudian ditumpangtindihkan menggunakan GIS sehingga menghasilkan peta zonasi kerentanan tanah longsor dengan lima kelas.

II. DATA DAN METODE

Lokasi penelitian berada di Daerah Donorejo dan sekitarnya, Kecamatan Kaligesing, Kabupaten Purworejo, dan Provinsi Jawa Barat dengan luasan area 25 km² yang terletak pada 7°47'-7°44' LS dan 110°4'-110°7' BT seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. Berdasarkan dari pengamatan lapangan secara langsung, ditemukan sebanyak 32 kejadian tanah longsor yang tersebar pada daerah penelitian. Data yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu *Digital Elevation Model – Shuttle Radar Topography Mission* (DEM SRTM) dan *Shapefile* daerah penelitian untuk membuat Peta *Stream Density* dan Peta Kemiringan Lereng, Peta Tata Guna Lahan, dan Peta *Buffer* dari Sungai yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial.



Gambar 1. Daerah Penelitian

Kemudian data yang diambil langsung dari kegiatan lapangan untuk membuat Peta Satuan Batuan dan Peta *Buffer* dari Struktur. Parameter-parameter tanah longsor ini kemudian diubah dari data vektor ke data raster dengan resolusi 30 m. Setiap parameter pengontrol longsor nantinya akan ditumpangtindihkan dengan titik longsor, sehingga tiap kelas dari masing-masing parameter memiliki 2 atribut yaitu jumlah piksel area dan jumlah longsor yang terjadi. Kedua atribut yang dimiliki tiap kelas ini digunakan untuk menghitung nilai *frequency ratio* dengan **rumus persamaan (1)** (Gulbet dan Getahun, 2024):

$$FR = \frac{Lp / \sum Lp}{Cp / \sum Cp} \quad (1)$$

Keterangan, FR = *frequency ratio*, Lp = jumlah longsor suatu kelas tiap parameter, Cp = jumlah piksel area suatu kelas tiap parameter, $\sum Lp$ = total longsor tiap parameter, dan $\sum Cp$ = total piksel area tiap parameter.

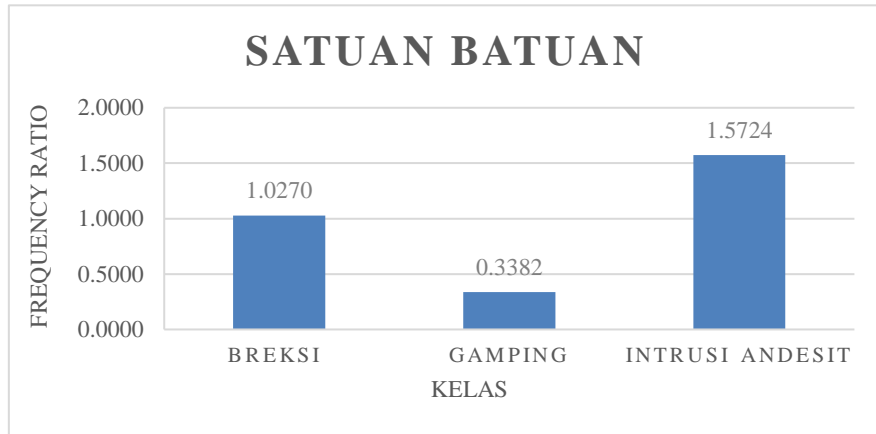
Hasil dari perhitungan *frequency ratio* nantinya akan digunakan untuk menganalisis hubungan antara tanah longsor dengan parameter pengontrol longsor dengan cara menghitung nilai pembobotan pada tiap parameter. Untuk memberikan nilai pembobotan, perlu menghitung nilai *relative frequency* (RF) dan *prediction rate* (PR). Nilai RF didapatkan dari membagi nilai FR tiap kelas dengan total nilai FR tiap parameter dengan **rumus persamaan (2)** (Gulbet dan Getahun, 2024):

$$RF = \frac{FR}{\sum FR} \quad (2)$$

Keterangan, RF = *relative frequency*, FR = *frequency ratio* tiap kelas, dan $\sum FR$ = total nilai *frequency ratio* tiap parameter.

Setelah nilai RF didapatkan, kemudian dihitung nilai *prediction rate* untuk mengetahui hubungan antara tiap parameter dengan tanah longsor pada daerah penelitian. Dimana nilai *prediction rate* didapatkan dengan **rumus persamaan (3)** (Gulbet dan Getahun, 2024):

Berdasarkan dari kegiatan lapangan dan analisis datanya, parameter ini dibagi menjadi 3 kelas, yaitu kelas breksi, kelas intrusi andesit, dan kelas batugamping yang dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**. Satuan litologi dengan nilai FR tinggi (>1) adalah satuan breksi (1,0270) dan intrusi andesit (1,5724). Hal tersebut menunjukkan bahwa ke-2 satuan litologi tersebut memiliki pengaruh yang besar terhadap terjadinya tanah longsor pada daerah penelitian. Hal ini disebabkan karena kondisi batuan pada kedua satuan tersebut telah mengalami pelapukan dan cenderung *impermeable*

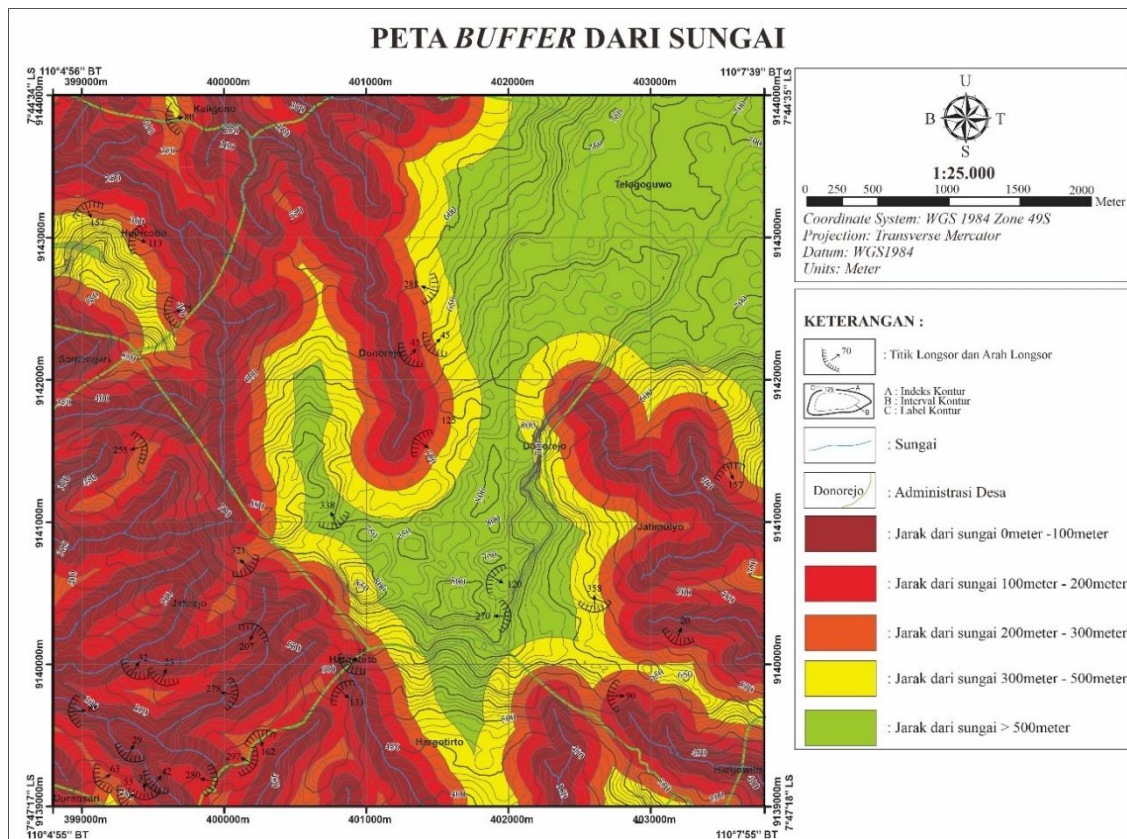


Gambar 3. Grafik Nilai *Frequency Ratio* Satuan Batuan

sehingga dapat menjadi bidang gelincir dan sangat rentan untuk mengalami longsor. Satuan batugamping memiliki nilai FR <1 yaitu, 0,3382. Hal tersebut menunjukkan bahwa satuan batugamping tidak memiliki pengaruh yang signifikan untuk terjadinya longsor pada daerah penelitian.

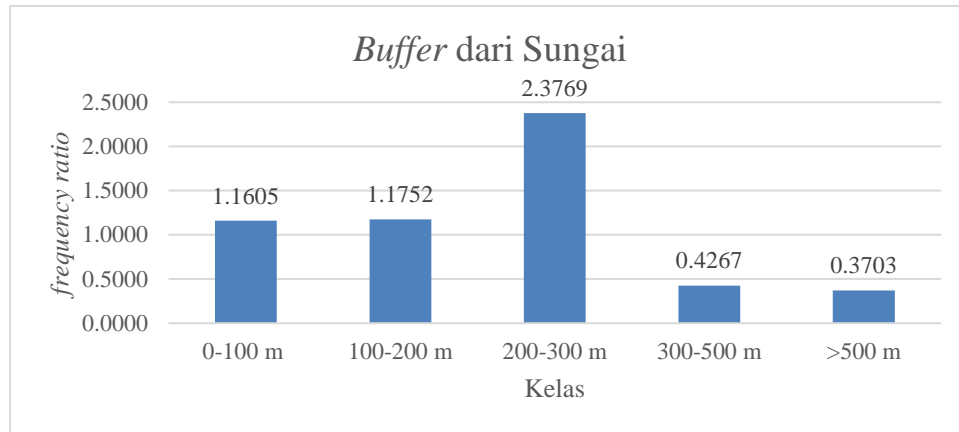
b. Buffer dari Sungai

Peta buffer dari sungai pada daerah penelitian dibagi menjadi 5 kelas yaitu: jarak 0-100 meter, 100-200 meter, 200-300 meter, 300-500 meter, dan >500 meter yang dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**. Berdasarkan nilai FR yang telah didapatkan, kelas yang memiliki pengaruh tinggi untuk terjadinya tanah longsor dengan nilai FR > 1 adalah jarak



Gambar 4. Peta Buffer dari Sungai Daerah Penelitian (Tidak Dalam Skala Sebenarnya)

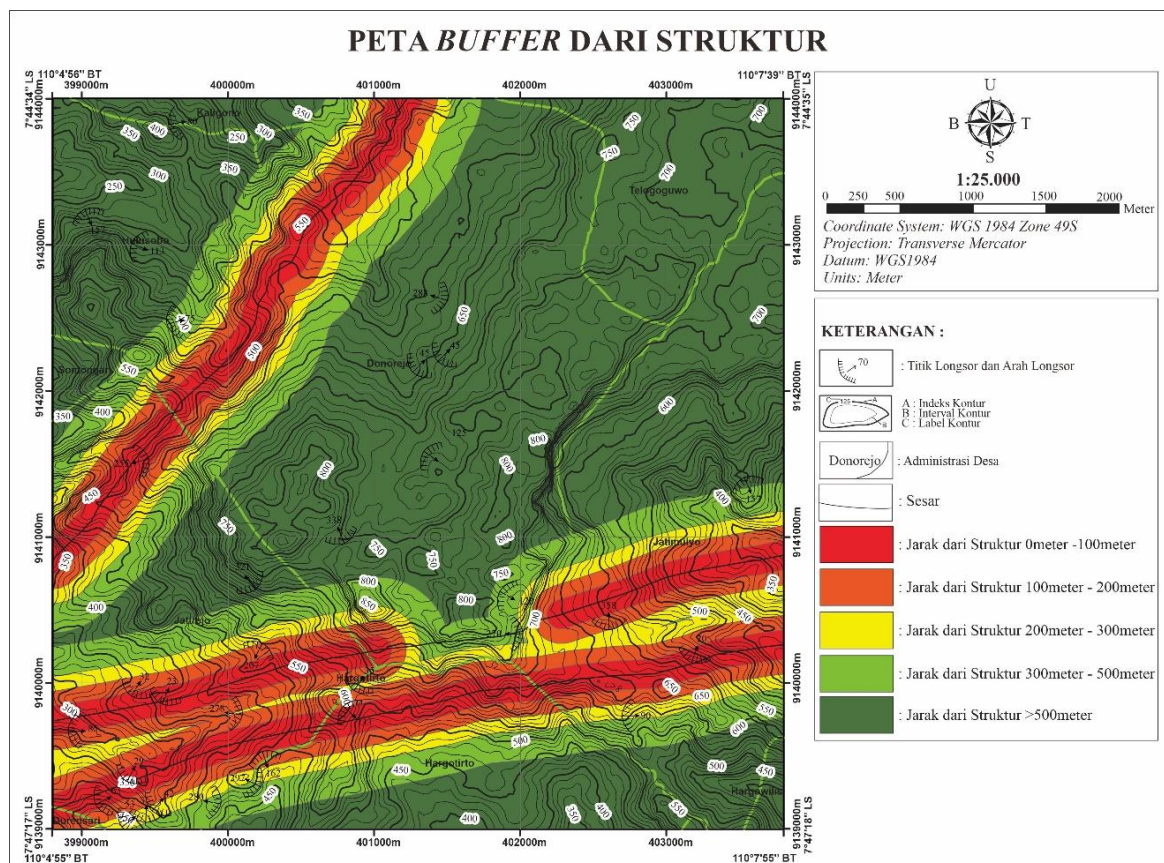
0-100 meter (1,1605), jarak 100-200 meter (1,1752), dan jarak 200-300 meter (2,3769), sedangkan pada jarak 300-500 meter dan >500 meter tidak memiliki pengaruh yang besar untuk terjadinya longsor pada daerah penelitian dengan nilai $FR < 1$. Hal ini menandakan bahwa semakin dekat jarak dengan sungai semakin tinggi tingkat pelapukan dan erosi yang terjadi pada daerah tersebut sehingga menjadi tidak stabil dan rentan untuk mengalami longsor.



Gambar 5. Grafik Nilai *Frequency Ratio* Buffer dari Sungai

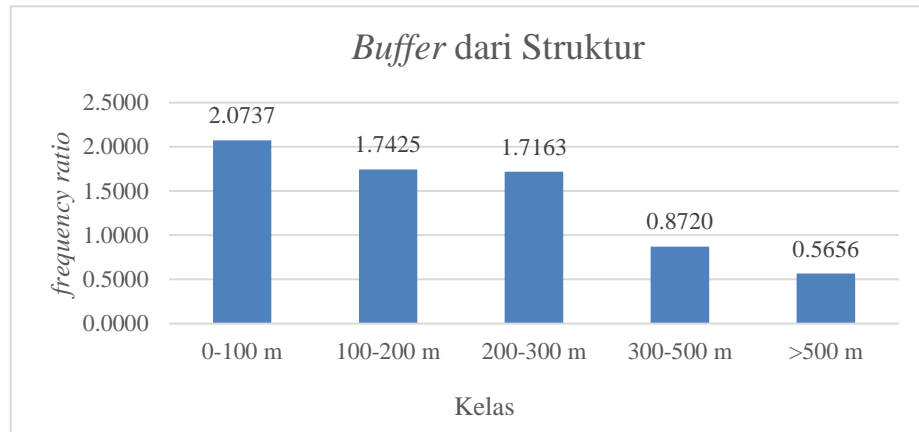
c. Buffer dari Struktur

Peta buffer dari struktur pada daerah penelitian dibagi menjadi 5 kelas yaitu: jarak 0-100 meter, 100-200 meter, 200-300 meter, 300-500 meter, dan >500 meter yang dapat dilihat pada **Gambar 6** dan **Gambar 7**. Berdasarkan nilai FR yang telah didapatkan, kelas yang memiliki pengaruh tinggi untuk terjadinya tanah longsor dengan nilai $FR > 1$ adalah jarak 0-100 meter (2,0737), jarak 100-200 meter (1,7425), dan jarak 200-300 meter (1,7163), sedangkan pada jarak 300-500 meter dan >500 meter dengan struktur tidak memiliki pengaruh yang besar untuk terjadinya longsor pada daerah penelitian dengan nilai $FR < 1$. Sesuai dengan yang dikatakan oleh Sugianti dkk. (2014) yang menyatakan bahwa semakin



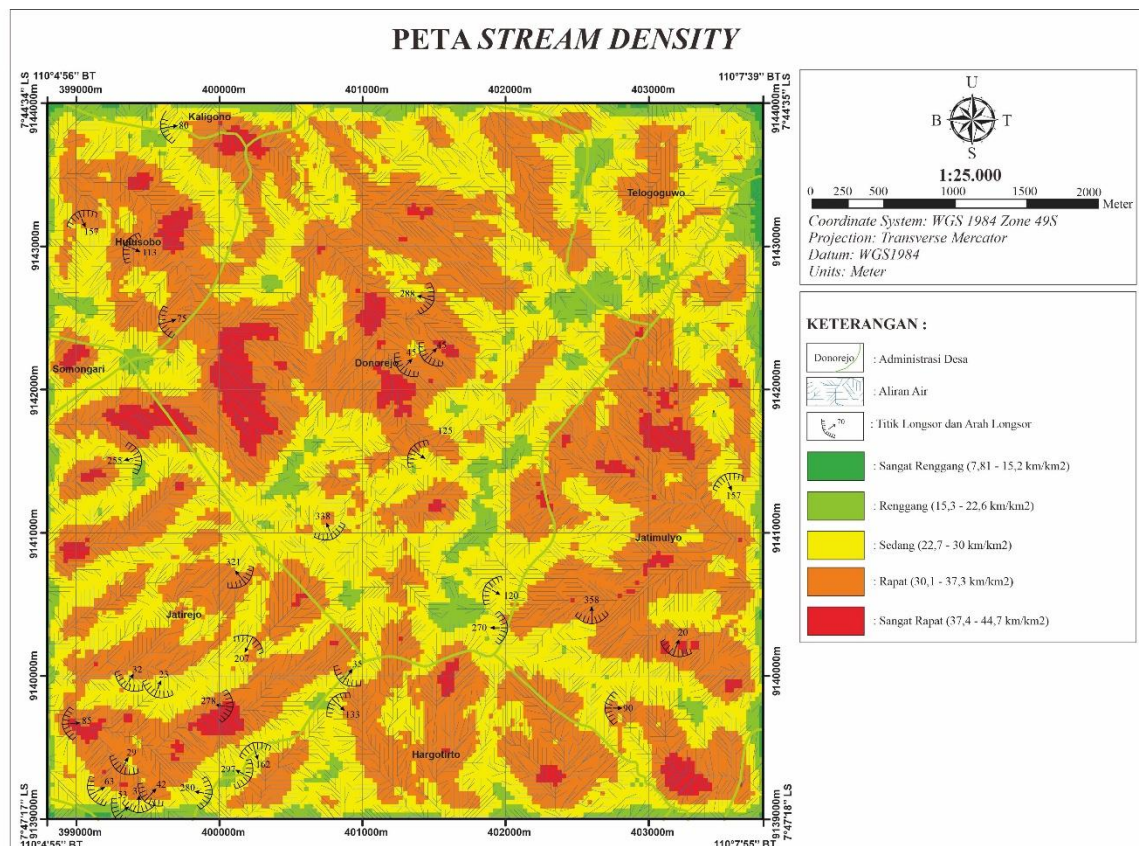
Gambar 6. Peta *Buffer* dari Stuktur Daerah Penelitian (Tidak Dalam Skala Sebenarnya)

dekat jaraknya dengan pola kelurusan struktur geologi, maka semakin besar pula pengaruh pergeseran struktur pada batuan yang nantinya dapat memicu untuk terjadinya longsor.



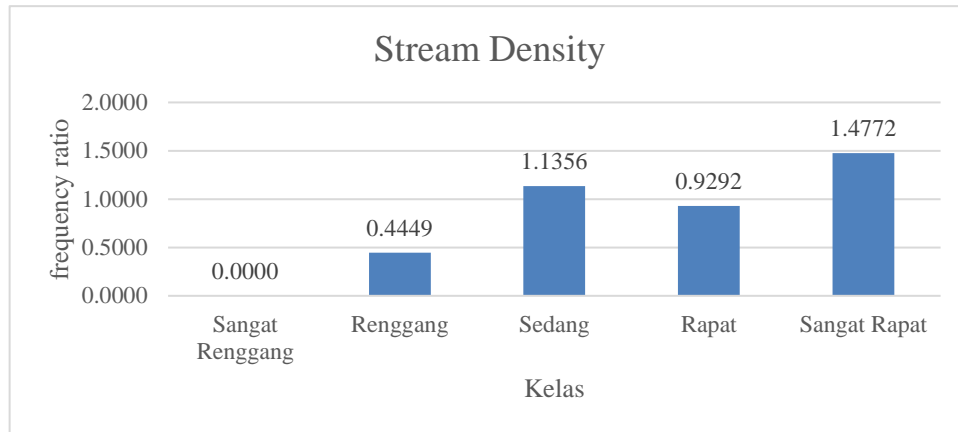
Gambar 7. Grafik Nilai *Frequency Ratio Buffer* dari Struktur

d. *Stream Density*



Gambar 8. Peta *Stream Density* Daerah Penelitian (Tidak Dalam Skala Sebenarnya)

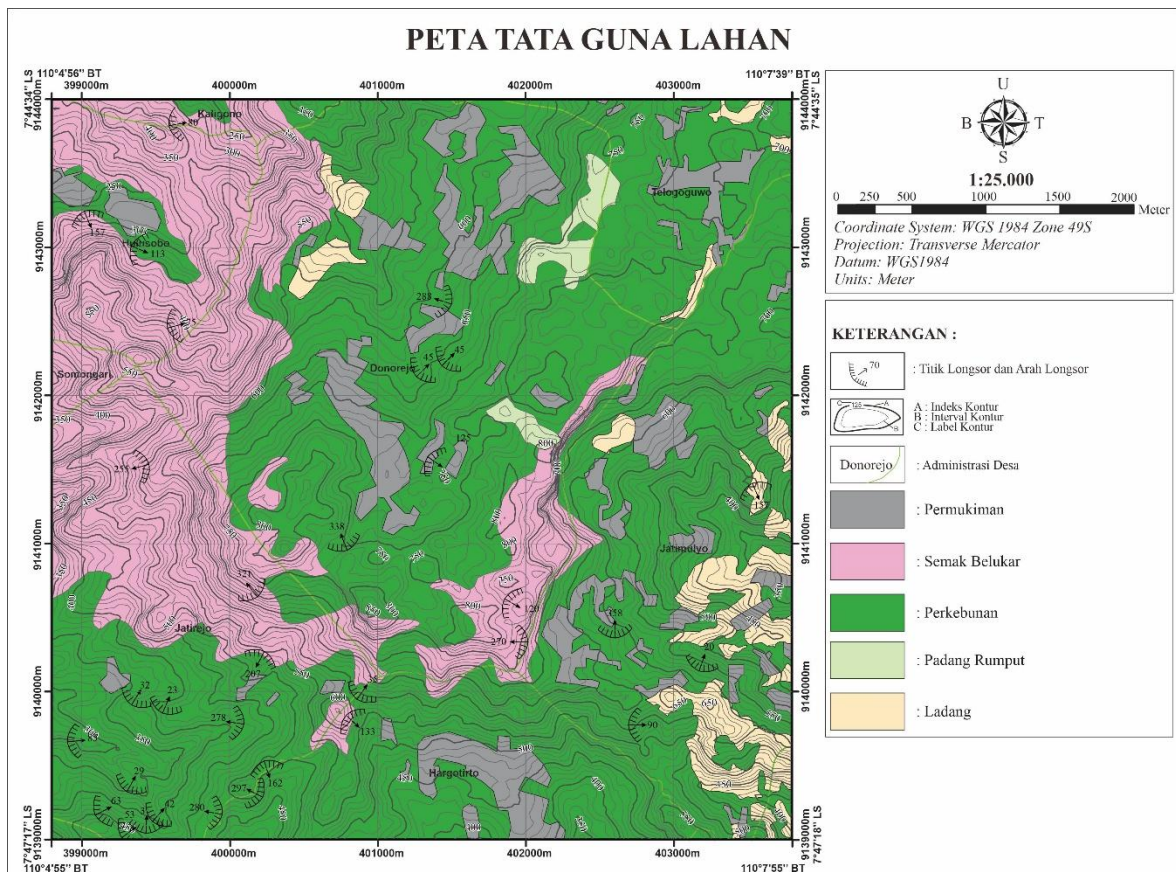
Peta *Stream density* daerah penelitian dibagi menjadi 5 kelas yaitu: sangat renggang, renggang, sedang, rapat, dan sangat rapat yang dilihat pada **Gambar 8** dan **Gambar 9**. Berdasarkan nilai *FR* yang telah didapatkan, kelas yang memiliki pengaruh tinggi terhadap terjadinya longsor dengan nilai $FR > 1$ adalah sedang (1,1356) dan sangat rapat (1,4772), sedangkan pada sangat renggang, renggang, dan rapat tidak memiliki pengaruh tinggi karena memiliki nilai $FR < 1$. Dimana, kerapatan aliran yang tinggi menunjukkan intensitas erosi yang tinggi pada masa lampau. Dengan demikian semakin tinggi kerapatan aliran maka cenderung berpotensi semakin tinggi kemungkinan terjadi longsor (Arsjad, 2012).



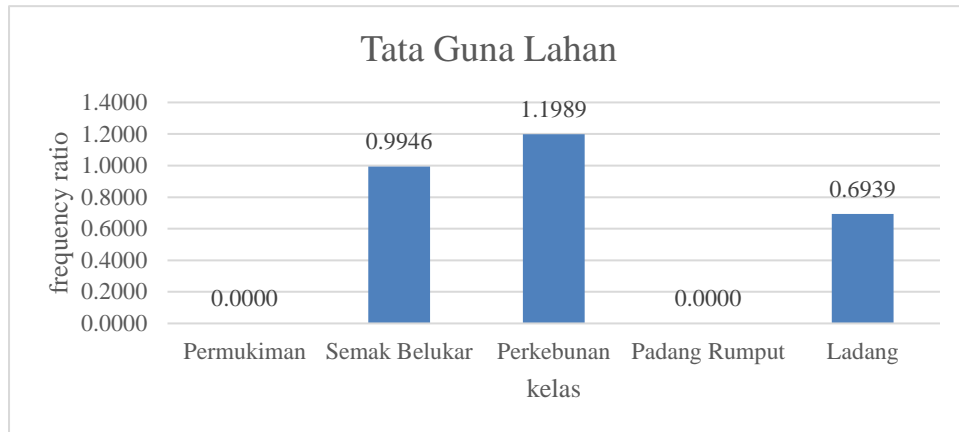
Gambar 9. Grafik Nilai *Frequency Ratio* Stream Density

e. Tata Guna Lahan

Pada daerah penelitian terdiri dari beberapa tata guna lahan yaitu terdiri dari permukiman, semak belukar, perkebunan, padang rumput, dan ladang dapat dilihat pada **Gambar 10** dan **Gambar 11**. Berdasarkan nilai FR yang didapatkan, tata guna lahan yang memiliki pengaruh tinggi terhadap longsor dengan nilai $FR > 1$ adalah perkebunan (1,1989). Hal ini diakibatkan bukaan lahan perkebunan mengakibatkan material penyusun lereng jadi semakin mudah untuk jenuh terhadap air, sehingga ketika memasuki musim hujan akan semakin mudah untuk lapuk dan mengalami longsor. Tata guna lahan berupa permukiman, semak belukar, padang rumput, dan ladang memiliki pengaruh yang kecil untuk terjadinya longsor dikarenakan nilai $FR < 1$.

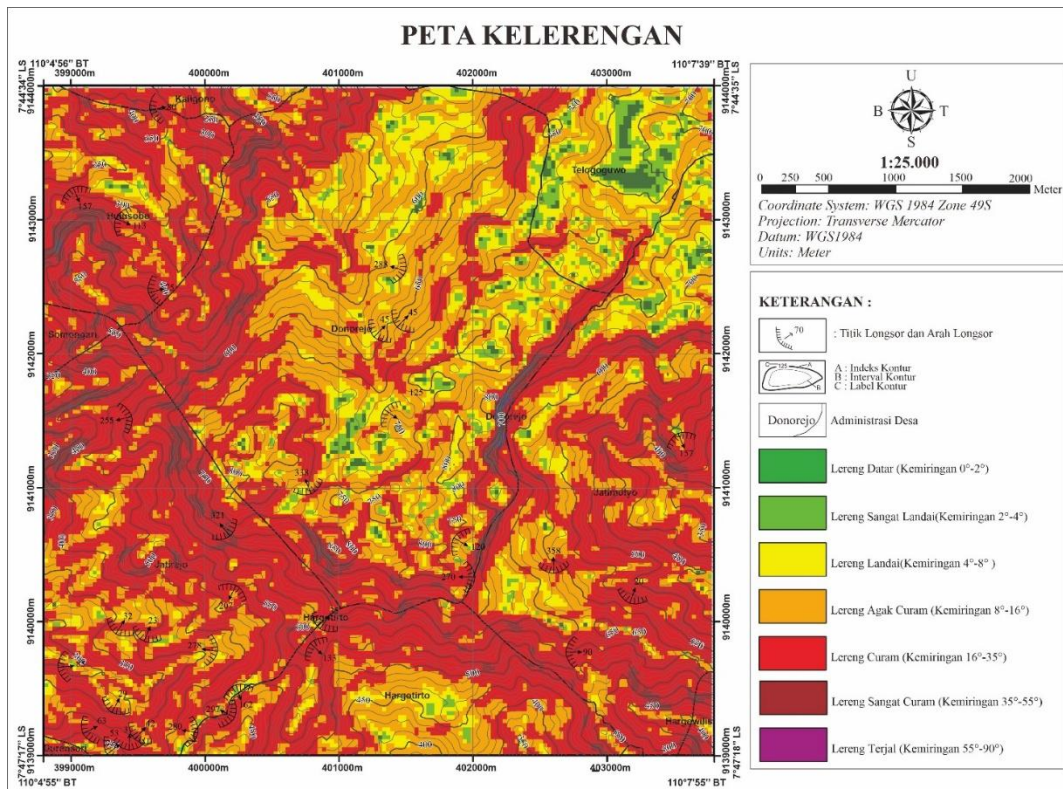


Gambar 10. Peta Tata Guna Lahan Daerah Penelitian (Tidak Dalam Skala Sebenarnya)



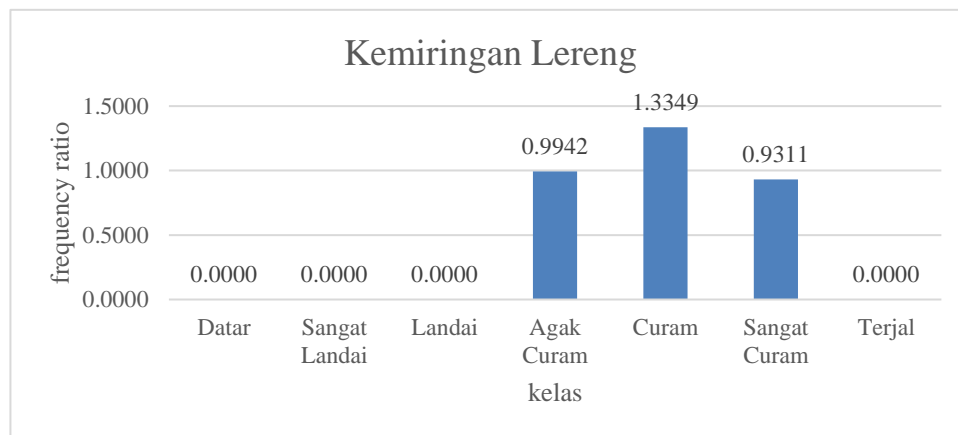
Gambar 11. Grafik Nilai *Frequency Ratio* Tata Guna Lahan

f. Kemiringan Lereng



Gambar 12. Peta Kelerengan Daerah Penelitian (Tidak Dalam Skala Sebenarnya)

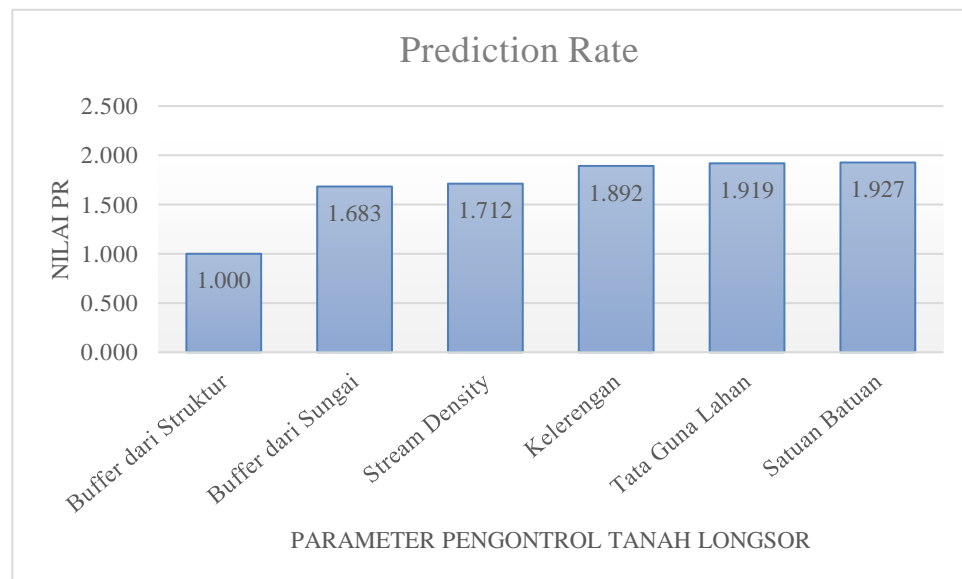
Berdasarkan klasifikasi kemiringan lereng Van Zuidam (1985), kemiringan lereng daerah penelitian dibagi menjadi 7 kelas yaitu: (0°-2°) datar, (2°-4°) sangat landai, (4°-8°) landai, (8°-16°) agak curam, (16°-35°) curam, (35°-55°) sangat curam, dan (55°-90°) terjal yang dapat dilihat pada **Gambar 12** dan **Gambar 13**. Berdasarkan nilai FR yang didapatkan, kelas yang memiliki pengaruh tinggi terhadap kejadian tanah longsor pada daerah penelitian dengan nilai FR >1 adalah kemiringan lereng curam (1,3349), sedangkan kemiringan lereng selain curam memiliki pengaruh yang kecil terhadap kejadian tanah longsor pada daerah penelitian dikarenakan nilai FR <1. Hal ini dikarenakan lereng yang curam memiliki potensi yang tinggi untuk terjadi tanah longsor diakibatkan lereng yang tidak stabil dan gaya gravitasi yang diterima pada kemiringan lereng curam lebih tinggi (Karnawati, 2005) dan juga pada daerah penelitian lebih didominasi dengan kelerengan yang curam, sedangkan untuk pada kelerengan sangat curam kenapa tidak ada sama sekali hal ini dikarenakan kecilnya zona kelerengan tersebut dan sulitnya akses untuk mencapai pada area tersebut.



Gambar 13. Grafik Nilai *Frequency Ratio* Kemiringan Lereng

3.2. Hubungan Tiap Kelas Pada Setiap Parameter Pengontrol Tanah Longsor.

Nilai *PR* dapat kita cari setelah kita mendapatkan nilai *FR*. Nilai *PR* digunakan untuk mengevaluasi dalam pembuatan suatu model dan juga digunakan untuk memberikan peringkat serta bobot pada setiap parameter guna untuk mengatasi masalah nilai yang sama pada *FR* yang telah dihitung. Berdasarkan data yang telah dianalisis dapat disimpulkan bahwa parameter yang paling berpengaruh terhadap terjadinya tanah longsor pada daerah penelitian dari yang paling berpengaruh hingga paling tidak berpengaruh adalah satuan batuan, tata guna lahan, kelerengan, *stream density*, *buffer* dari sungai, dan *buffer* dari struktur dengan nilai yang tercantum pada **Gambar 14**. Setelah mendapatkan nilai *PR*, selanjutnya keenam parameter pengontrol tanah longsor yang sudah dihitung akan digunakan untuk membuat model zonasi kerentanan tanah longsor.

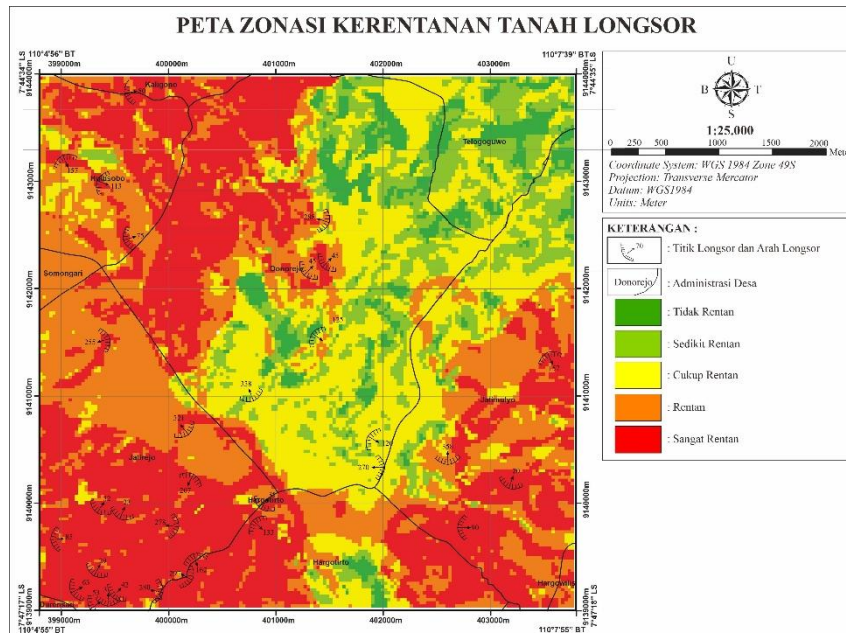


Gambar 14. Grafik Nilai *Prediction Rate* Parameter Pengontrol Tanah Longsor

3.3. Model Zonasi Kerentan Tanah Longsor

Model zonasi kerentanan tanah longsor daerah penelitian didapatkan dari menumpangtindihkan 6 parameter pengontrol tanah longsor dengan **rumus persamaan (4)**. Hasil dari model zonasi kerentanan ini dibagi menjadi 5 kelas, yaitu tidak rentan, sedikit rentan, cukup rentan, rentan, dan sangat rentan yang dapat dilihat pada **Gambar 15**. Dari nilai yang didapatkan pada perhitungan sebelumnya dapat dilihat pada model yang dibuat, zona sangat rentan berada pada daerah satuan intrusi andesit, kelerengan curam, berjarak 0-100m dari struktur dan sungai, *stream density* yang sangat rapat dan lahan yang digunakan untuk perkebunan, sedangkan pada zona tidak rentan berada pada satuan batugamping, berjarak >500m dari struktur dan sungai, *stream density* yang sangat renggang, kelerengan datar hingga landai dan lahan yang digunakan untuk permukiman dan seterusnya. Berdasarkan model yang telah dibuat dapat diketahui luasan area tiap zona

pada daerah penelitian, yaitu 5% pada zona tidak rentan, 11% pada zona sedikit rentan, 23% pada zona cukup rentan, 26% pada zona rentan, dan 35% pada zona sangat rentan.



Gambar 15. Peta Zonasi Kerentanan Tanah Longsor

Berdasarkan perhitungan dan menumpangtindihkan keenam parameter pengontrol tanah longsor yang digunakan, dapat diketahui bagaimana karakteristik fisik yang mengakibatkan kejadian tanah longsor yang dapat dilihat pada **Tabel 1**.

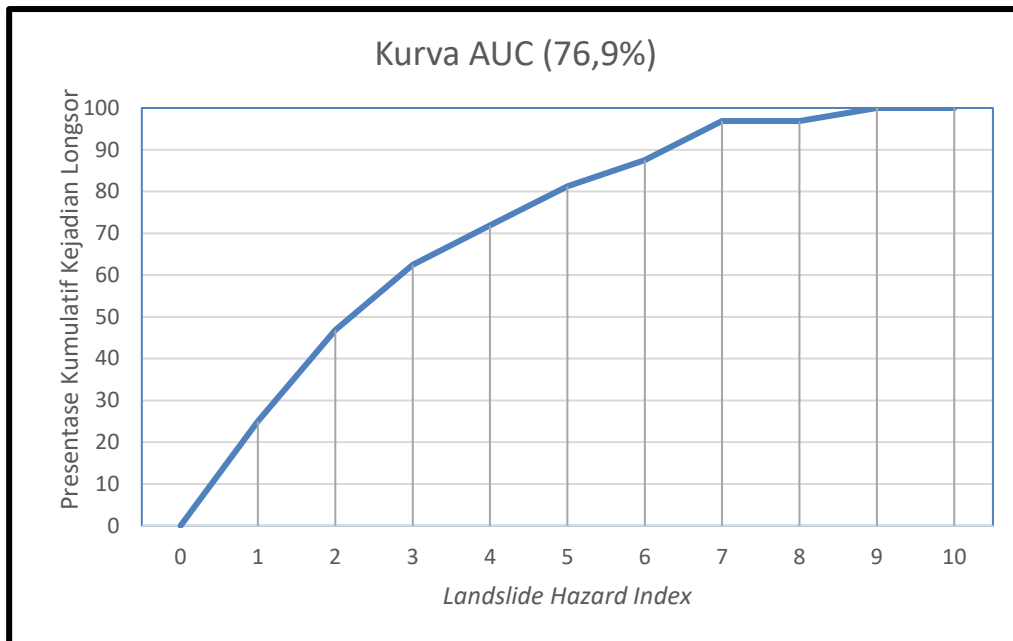
Tabel 1. Karakteristik Fisik Terhadap Kepekaan Kejadian Tanah Longsor dan Erosi

No.	Karakteristik Fisik	Kepekaan
1	Satuan Batuan Andesit	Peka Terhadap Kejadian Tanah Longsor
2	Berada Pada Area Yang Dekat Dengan Struktur dan Sungai	Peka Terhadap Erosi
3	Berada Pada Aliran Yang Sangat Rapat	Peka Terhadap Erosi
4	Memiliki Kemiringan Lereng Curam	Peka Terhadap Kejadian Tanah Longsor
5	Berada Pada Perkebunan	Peka Terhadap Kejadian Tanah Longsor

3.3. Evaluasi Model Dengan Perhitungan *Area Under Curve* (AUC)

Permodelan peta zonasi kerentanan tanah longsor yang telah dibuat, tentu perlu dilakukan pengujian terhadap model yang telah dibuat. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa kuat tingkat akurasi dari permodelan yang telah dibuat. Perhitungan tingkat akurasi dari permodelan ini dilakukan dengan cara metode AUC (*Area Under Curve*) yang dihitung dari kurva perubahan laju. Kurva perubahan laju sendiri didapatkan dengan cara membagi nilai *landslide hazard index* menjadi 10 kelas. Kemudian dihitung nilai presentase kejadian tanah longsor dan kumulatifnya pada setiap kelas *landslide hazard index* tadi dan buat kurva perubahan laju dengan menggunakan nilai *landslide hazard index* sebagai sumbu-x dan nilai presentase kumulatif sebagai sumbu-y. Semakin mendekati 1 nilai AUC menandakan semakin tinggi akurasi dari permodelan yang telah dibuat, sedangkan nilai AUC yang dibawah 0,5 dianggap tak layak untuk digunakan (Bekkar dkk., 2010). Berdasarkan uji AUC permodelan yang telah dilakukan pada **Gambar 16**. Didapatkan nilai tingkat akurasi

permodelan peta zonasi kerentanan tanah longsor yang telah dibuat sebesar 76,9% atau 0,769 yang menandakan bahwa permodelan yang dibuat memiliki kualitas yang baik.



Gambar 16. Kurva Dan Nilai AUC Model Zonasi Kerentanan Tanah Longsor.

Tabel 2. Perhitungan Uji Evaluasi Keakuratan Model Dengan Metode *Area Under Curve (LHI: Landslide Hazard Index, AUC: Area Under Curve)*

No.	Nilai LHI (%)	Kelas LHI (%)	Jumlah Titik Longsor	Presentase Titik Longsor (%)	Presentase Kumulatif Kejadian Longsor (%)
0	0	0	0	0	0
1	0-10	100	8	25	25
2	10-20	90	7	22	47
3	20-30	80	5	16	63
4	30-40	70	3	9	72
5	40-50	60	3	9	81
6	50-60	50	2	6	88
7	60-70	40	3	9	97
8	70-80	30	0	0	97
9	80-90	20	1	3	100
10	90-100	10	0	0	100
Total			32	100	AUC = 76.9%

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dengan metode *frequency ratio* dan nilai *Prediction Rate Rate* yang dimiliki dari tiap-tiap parameter menunjukkan bahwa parameter pengontrol tanah longsor yang berperan besar dalam kerentanan tanah longsor yaitu satuan batuan (1.927), tata guna lahan (1.919), kemiringan lereng (1.892), *stream density* (1.712), *buffer* dari sungai (1.683), dan *buffer* dari struktur (1.000). Dari model yang telah dibuat dapat diketahui persebaran dari tiap zona kerentanan tanah longsor pada daerah penelitian yaitu 5% pada zona tidak rentan, 11% pada zona sedikit rentan, 23% pada zona cukup rentan, 26% pada zona rentan, dan 35% pada zona sangat rentan. Hasil dari uji evaluasi model dengan

perhitungan *Area Under Curve (AUC)* mendapatkan nilai akurasi sebesar 76,9%. Berdasarkan hal tersebut, dapat dinyatakan bahwa model zonasi kerentanan tanah longsor yang dibuat dengan metode *frequency ratio* dapat diterapkan untuk mitigasi bencana longsor pada daerah penelitian.

REFERENCES

- Arsjad, A.B. (2012). Informasi Geospasial Daerah Rawan Longsor Sebagai Bahan Masukan Dalam Perencanaan Tata Ruang Wilayah. Cibinong : Globe Volume 14. No.1 Juni 2012.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). Penyusunan dan Penentuan Zona Kerentanan Gerakan Tanah SNI 8291:2016. Jakarta.
- Barredo, J. I., Benavides, A., Hervás, J., and Van Westen, C. J. (2000): Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2000(1), 9–23.
- ESRI. (2010). Natural Breaks (Jenks). http://resources.esri.com/help/9.3/arcgisdesktop/com/gptoolref/EnvironmentSettings/natural_breaks.htm diakses pada tanggal 20 Januari 2025.
- ESRI. (2019). Cell Size. http://resources.esri.com/help/9.3/arcgisdesktop/com/gptoolref/EnvironmentSettings/cell_size.htm diakses pada tanggal 20 Januari 2025.
- Gulbet, E., & Getahun, B. (2024). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio and analytical hierarchy process method in Awabel Woreda, Ethiopia. *Quaternary Science Advances*, 16, 100246
- Karnawati, D. (2005): *Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*. Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia.
- Lee, S., J. Choi, and K. Min, (2004), Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea. *International Journal of Remote Sensing*, 25(11), 2037-2052
- Lee S and Min K (2001) Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environ Geol* 40:1095-1113
- Lee S, Chwae U and Min K (2002) Landslide susceptibility mapping by correlation between topography and geological structure: the Janghung area, Korea. *Geomorphology* 46:49-162
- Nugroho, D. D., & Nugroho, H. (2020). Analisis Kerentanan Tanah Longsor Menggunakan Metode Frequency Ratio di Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat. *Geoid*, 16(1), 8-18
- Nusantara, Y. P., & Setianto, A. (2015, October). Pemetaan Bahaya Tanah Longsor dengan Metode Frequency Ratio di Kecamatan Piyungan dan Pleret, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. In *PROCEEDING, SEMINAR NASIONAL KEBUMIHAN KE-8 Academia-Industry Linkage 15-16 OKTOBER 2015; GRHA SABHA PRAMANA*. Departmen Teknik Geologi.
- Rahardjo, W. Sukandarrumidi, & Rosidi, HMS (2012), Peta Geologi Lembar Yogyakarta skala 1: 100.000. Direktorat Geologi, Bandung
- Remondo J, Gonzalez A, Diaz de Teran JR, Cendrero A, Fabbri AG and Chung CJF (2003) Validation of landslide susceptibility maps: examples and applications from a case study in Northern Spain. *Nat Hazards* 30:437-449
- Tien Bui, D. (2011). Landslide Suspectibility Analysis in the Hoa Binh Province of Vietnam Using Statistical Index and Logistic Regression. *Nat. Hazards*.