

## Pemetaan Potensi Sumber Mata Air DAS Bedadung Berbasis Penginderaan Jauh Menggunakan Metode Frekuensi Rasio

### *Mapping The Potential of Water Springs in The Bedadung Watershed Based on Remote Sensing Using The Frequency Ratio Method*

Entin Hidayah<sup>1)</sup>\* Ririn Endah Badriani<sup>1)</sup> Alvian Sahal Mahfud<sup>1)</sup>

Universitas Jember  
Jalan Kalimantan No. 37, Jember Jawa Timur, Indonesia

\*Corresponding email: [entin.unej@ac.id](mailto:entin.unej@ac.id)

Diterima: 30 September 2024; Direvisi: 05 April 2025; Disetujui: 16 Mei 2025

#### Abstract

The Frequency Ratio (FR) method combined with Geographic Information Systems (GIS) was applied to map groundwater potential in the Bedadung Watershed, Jember Regency, Indonesia. The study was conducted from September 2024 to January 2025 by analyzing 136 spring locations across an area of 9,590.83 km<sup>2</sup>. The main objectives were to identify factors influencing groundwater potential, validate the predictive model using the Area Under the Curve (AUC) method, and produce a detailed groundwater potential map. A total of 14 environmental parameters were considered, including Elevation, slope, and vegetation density. Model validation produced an AUC value of 73.8%, indicating a good level of predictive accuracy. The highest groundwater potential was observed in the sub-districts of Sukorambi, Arjasa, Sukowono, and Kalisat, where more than 50% of the area falls into the very high potential category. In contrast, Panti Sub-district demonstrated limited groundwater availability, with 59% of its area classified as low to very low potential. The resulting groundwater potential map was classified into five categories: very low, low, moderate, high, and very high. These findings provide a scientific basis for sustainable water resource management, emphasizing conservation strategies in high-potential areas and infrastructure development in low-potential zones. The effectiveness of the FR method in spatial analysis is reaffirmed, offering valuable insights for groundwater management in the Bedadung Watershed.

**Keywords:** spatial analysis, Bedadung Watershed, Frequency Ratio (FR), Geographic Information Systems (GIS), AUC

#### Abstrak

Pemanfaatan metode Frequency Ratio (FR) dan Sistem Informasi Geografis (SIG) diterapkan untuk memetakan potensi air tanah di Daerah Aliran Sungai (DAS) Bedadung, Kabupaten Jember. Kegiatan dilakukan pada periode September 2024 hingga Januari 2025 dengan menganalisis 136 titik mata air yang tersebar di wilayah seluas 9.590,83 km<sup>2</sup>. Tujuan utama mencakup identifikasi faktor-faktor yang memengaruhi potensi air tanah, validasi model menggunakan metode Area Under Curve (AUC), serta penyusunan peta potensi air tanah secara rinci. Sebanyak 14 parameter lingkungan dianalisis, meliputi ketinggian, kemiringan lereng, dan kerapatan vegetasi. Hasil validasi menunjukkan nilai AUC sebesar 73,8%, yang mengindikasikan tingkat akurasi prediktif yang baik. Wilayah dengan potensi tertinggi terdapat di Kecamatan Sukorambi, Arjasa, Sukowono, dan Kalisat, dengan lebih dari 50% luas wilayahnya termasuk dalam kategori potensi sangat tinggi. Sebaliknya, Kecamatan Panti menunjukkan ketersediaan air tanah yang rendah, dengan 59% wilayahnya berada pada kategori potensi rendah hingga sangat rendah. Peta potensi air tanah diklasifikasikan ke dalam lima kategori, yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Hasil ini memberikan dasar ilmiah bagi perencanaan pengelolaan sumber daya air secara berkelanjutan, melalui strategi konservasi pada wilayah berpotensi tinggi dan pengembangan infrastruktur pada wilayah berpotensi rendah. Metode FR terbukti efektif dalam analisis spasial serta memberikan kontribusi penting dalam pengelolaan air di wilayah DAS Bedadung.

**Kata Kunci:** analisis spasial, DAS Bedadung, Frequency Rasio (FR), Sistem Informasi Geografis (SIG), AUC

## PENDAHULUAN

Penyediaan air bersih merupakan bagian dari Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*) poin ke-6, yang menargetkan akses universal terhadap air minum yang aman dan terjangkau pada tahun 2030 (Bappenas, 2023). Penelitian ini secara khusus menitikberatkan pada pencapaian indikator ke-4 dan ke-5, yaitu efisiensi penggunaan air, perlindungan sumber daya air, serta pengelolaan yang berkelanjutan. Namun, hingga tahun 2022, tercatat sebanyak 2,2 miliar jiwa di dunia mengalami krisis air, dengan dampak paling besar dirasakan oleh masyarakat pedesaan (Kompas.com, 2023). Di Indonesia, permasalahan ini diperparah oleh penurunan curah hujan sebesar 1–4% pada periode 2020 hingga 2024 (Bappenas, 2024). Kekeringan yang terjadi juga disebabkan oleh kurangnya area resapan tanah karena semakin besarnya aliran permukaan, maka semakin sedikit air yang meresap ke dalam tanah, sehingga ketersediaan air tanah sebagai sumber mata air pun semakin berkurang. Air hujan yang seharusnya meresap justru mengalir di permukaan dan menuju ke badan air, yang pada akhirnya menyebabkan banjir saat musim hujan dan kekeringan saat musim kemarau (Parahita dkk., 2022). Kabupaten Jember menjadi salah satu wilayah terdampak, dengan empat kecamatan dilaporkan mengalami kekeringan pada tahun 2024, yaitu Tempurejo, Tanggul, Kalisat, dan Patrang (BPBD Kabupaten Jember, 2024).

Salah satu sumber air baku yang vital bagi masyarakat Jember berasal dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Bedadung, yang berfungsi sebagai saluran irigasi dan sumber air minum (Novita dkk., 2021). Kajian sebelumnya terhadap DAS Bedadung lebih banyak berfokus pada aspek kuantitatif tanpa mengikutsertakan analisis spasial untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi potensi mata air. Padahal, teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) telah terbukti efektif dalam pemetaan potensi air tanah, dengan tingkat akurasi yang tinggi, sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian Lee dkk. (2020) dan Chen dkk. (2020). Metode *Frequency Ratio* (FR), yang memanfaatkan pendekatan probabilistik untuk menganalisis pengaruh parameter lingkungan terhadap potensi sumber air, juga menunjukkan performa lebih unggul dibandingkan metode lain seperti AHP, EBF, dan FAHP (Li dkk., 2023; Boughariou dkk., 2021).

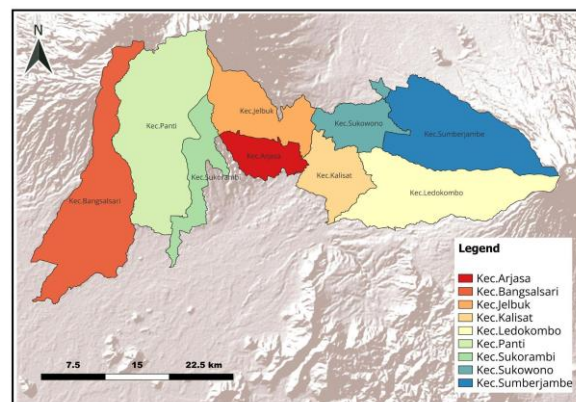
Penelitian ini bertujuan untuk memetakan potensi mata air di DAS Bedadung secara spasial menggunakan metode FR. Solusi dari permasalahan kekeringan yang melanda di Kabupaten Jember

pada penelitian ini berupa peta distribusi potensi mata air yang lebih akurat, yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan kebijakan dalam pengelolaan sumber daya air bersih di Kabupaten Jember secara berkelanjutan. Inovasi dari penelitian ini terletak pada penerapan metode FR yang relatif baru dalam konteks pemetaan potensi mata air di wilayah DAS di Indonesia.

DAS Bedadung dipilih sebagai lokasi penelitian karena merupakan salah satu wilayah hidrologis utama di Kabupaten Jember, yang memiliki peran strategis dalam penyediaan air irigasi dan konsumsi. Tingginya tekanan terhadap sumber daya air di wilayah ini serta belum optimalnya pengelolaan berdasarkan potensi spasial menjadikan DAS Bedadung layak dijadikan fokus kajian dalam upaya mendukung ketahanan air daerah.

## METODOLOGI

### Wilayah Studi



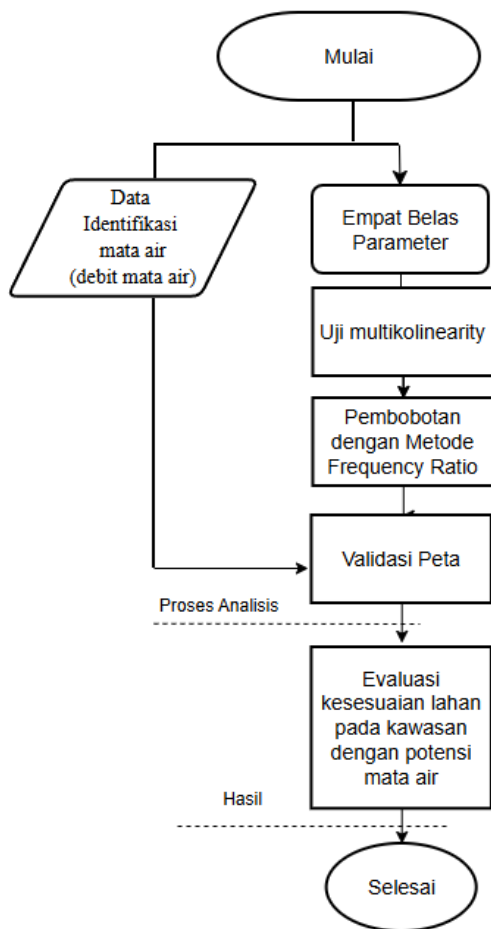
Gambar 1 Lokasi Penelitian

Peta lokasi penelitian terletak di Daerah Aliran Sungai (DAS) Bedadung, yang ditampilkan pada Gambar 1. Daerah Aliran Sungai (DAS) Bedadung yang terletak di Kabupaten Jember, Provinsi Jawa Timur, Indonesia. Letak geografis DAS Bedadung berada pada Lintang:  $7^{\circ} 57' 11,96''$  -  $8^{\circ} 25' 3,14''$  LS dan Bujur:  $113^{\circ} 26' 1,93''$  -  $114^{\circ} 1' 13,44''$  BT. DAS Bedadung memiliki luas  $499,5 \text{ km}^2$  atau  $49950$  hektar, sebagian besar DAS Bedadung berada di Kabupaten Jember (92%) dan sebagian kecil berada di Kabupaten Bondowoso (8%). Hulu dibatasi oleh lereng pegunungan Iyang, tepatnya di Desa Rowosari, Kecamatan Sumberjambe. Muara DAS Bedadung berakhir di Samudra Hindia tepatnya sekitar Kecamatan Puger (Mirza dkk., 2023).

### Prosedur Penelitian

Penelitian pemetaan potensi mata air DAS Bedadung dilakukan untuk mengetahui dan memetakan potensi mata air di kawasan tersebut. Data dianalisis menggunakan aplikasi SIG atau

sistem informasi geospasial. Data olahan aplikasi SIG berupa data spasial akan dihitung menggunakan metode Frequency Ratio (FR). Data perhitungan FR akan divalidasi menggunakan validasi AUC (Area Under Curve). Diagram alur penelitian secara rinci ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

### Tahap Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan. Tahapan awal dengan menentukan bobot dari masing-masing parameter potensi mata air. Data perhitungan bobot yang telah didapat kemudian dilanjutkan dengan menghitung indeks potensi mata air. Tahapan akhir dari penelitian ini adalah membuat peta potensi mata air yang dilengkapi dengan indeks potensi mata air. Pengumpulan data dilakukan untuk mengidentifikasi potensi mata air yang terjadi di DAS Bedadung, terdiri atas:

#### 1. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang dikumpulkan oleh pihak lain di luar peneliti. Data ini diperoleh dari dinas-dinas setempat yang berkaitan dan digunakan untuk mendukung informasi primer. Data sekunder yang digunakan dalam pemetaan potensi air DAS Bedadung dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Sumber Data Sekunder

No	Jenis Data	Sumber
1	Curah Hujan	Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Jember, 2024
2	Batas DAS Bedadung	Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Jember, 2024
3	DEM	United States Geological Survey, 2024
4	Tata guna lahan	United States Geological Survey, 2024
5	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	United States Geological Survey, 2024

#### 2. Data Primer

Pengumpulan data primer dilakukan melalui survei dan pengamatan langsung di lapangan. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi lokasi potensial mata air, kondisi fisik lingkungan sekitar, serta faktor-faktor yang memengaruhi kemunculan mata air.

### Uji Multikolinearitas

Uji Multikolinearitas dilakukan untuk mengetahui apakah ada hubungan yang sangat erat antara dua atau lebih variabel (parameter) yang dapat menyebabkan kemunculan mata air. Uji ini menggunakan metode Korelasi *Pearson* untuk mengukur seberapa kuat hubungan antara parameter-parameter tersebut (Widana & Muliani, 2020). Jika hasil perhitungan Korelasi *Pearson* menunjukkan nilai korelasi lebih besar dari 0,8 (baik positif maupun negatif), ini menandakan bahwa ada hubungan yang sangat kuat dan terjadi multikolinearitas antara kedua parameter tersebut. Artinya, kedua parameter tersebut memberikan informasi yang hampir sama, sehingga salah satu dari parameter tersebut sebaiknya dieliminasi agar analisis lebih akurat dan tidak bias (Krisnayani dkk., 2021).

### Training Model

Titik lokasi pengambilan sampel disesuaikan dengan data sampel mata air yang sudah ada dan ditambah dengan data hasil wawancara warga pada saat survei. Data yang sudah didapatkan dimasukkan ke dalam aplikasi SIG dalam bentuk titik mata air untuk dilakukan analisis. *Training* dilakukan pada faktor yang memengaruhi potensi mata air yaitu *Rainfall, Elevation, slope, TRI, Surface Curvature, TWI, River Density, Litologi, Soil type,*

Jarak mata air dengan pemukiman, *Lineament Density, Land Use* (Lee dkk., 2020). Data yang belum direklasifikasi akan direklasifikasi dengan metode natural breaks. Metode *jenks natural breaks* bertujuan untuk mengidentifikasi pola dan membagi data spasial ke dalam kelompok-kelompok yang homogen. Tujuan utamanya adalah untuk meminimalkan variasi dalam kelompok serta memaksimalkan variasi antar kelompok (Shafira dkk., 2023). Metode ini memiliki peran penting dalam analisis pemetaan, seperti analisis geospasial, analisis kelas wilayah, atau pemetaan data statistik. Metode Natural Breaks cocok diterapkan pada data yang distribusinya tidak merata dan tidak memiliki kecenderungan ke salah satu ujung distribusi. (Shafira dkk., 2023).

**Pembobotan Frequency Ratio**

Metode *Frequency Ratio* dan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) digunakan untuk menghitung bobot dari setiap parameter (Boughariou dkk., 2021). Data perhitungan berupa bobot dari setiap parameter digunakan dalam menentukan potensi mata air, perhitungan ini menggunakan rumus seperti pada persamaan (1)

$$FR = \frac{\text{Titik mata air dalam kelas} / \text{total titik mata air}}{\text{Luas kelas faktor} / \text{luas total}} \dots\dots(1)$$

Nilai FR kemudian dinormalisasi ke dalam rentang probabilitas (0,1) sebagai *Relative Frequency* (RF) dengan menggunakan persamaan (2)

$$RF = \frac{\text{Kelas faktor FR}}{\Sigma \text{Kelas faktor FR}} \dots\dots\dots(2)$$

Setelah dilakukan normalisasi, metode *Relative Frequency* (RF) masih memiliki kelemahan dalam memperhitungkan setiap faktor, karena semua faktor dianggap memiliki bobot yang sama. Masalah ini dapat diatasi dengan menemukan hubungan timbal balik antara faktor-faktor penyebab potensi mata air. Bobot atau predictor rate (PR) dihitung berdasarkan peringkat dari masing-masing faktor penyebab potensi mata air menggunakan persamaan (3).

$$PR = \frac{(RF_{Max} - RF_{Min})}{(RF_{Max} - RF_{Min})_{Min}} \dots\dots\dots(3)$$

Langkah terakhir dalam menentukan indeks potensi mata air atau Water Spring Potential Index (WSPI) dilakukan dengan menjumlahkan nilai predictor rate (PR) dari setiap faktor dan *Relative Frequency* (RF) dari setiap kelas, sesuai dengan persamaan (4).

$$WSPI = \sum_{i=1}^n PR \times RF_i \dots\dots\dots(4)$$

Data jumlah pixel dari file raster yang diperlukan untuk perhitungan menggunakan metode FR didapatkan melalui aplikasi SIG. Data jumlah pixel yang sudah didapat akan diolah menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* untuk memudahkan dan mempercepat peneliti dalam melakukan perhitungan. Nilai rasio lebih besar dari 1 menunjukkan bahwa faktor tersebut memiliki pengaruh positif terhadap keberadaan mata air, sedangkan nilai kurang dari 1 menunjukkan pengaruh negatif atau tidak signifikan (Boughariou dkk., 2021). Setiap faktor lingkungan yang dianalisis diberikan bobot berdasarkan nilai frekuensi rasio, dan hasil akhir digabungkan untuk menghasilkan peta tematik yang menunjukkan area dengan potensi mata air tertinggi. Keunggulan utama dari metode ini adalah kesederhanaannya dalam menghitung dan menginterpretasikan hubungan antara faktor lingkungan dan keberadaan mata air (Yariyan dkk., 2021).

**Perhitungan Indeks Potensi Mata Air**

Data hasil pembobotan menggunakan metode FR kemudian akan diolah kembali untuk mengetahui indeks potensi mata air. Data indeks potensi mata air adalah hasil dari total nilai bobot masing masing parameter yang dihitung berdasarkan rumus pada persamaan (4).

**Validasi Model**

Validasi model yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode AUC atau *Area Under Curve* yang dihitung berdasarkan area kumulatif potensi mata air untuk memberikan gambaran dan prediksi dari suatu data (Patle dkk., 2022). Hasil perhitungan ini kemudian diplot dalam sebuah grafik AUC. Nilai indeks AUC bervariasi, di mana nilai maksimum yang mendekati 1 (100%) menunjukkan bahwa model yang digunakan sangat baik, sedangkan nilai yang mendekati 0 (0%) menandakan bahwa model tersebut kurang efektif.. Rumus yang digunakan dalam perhitungan AUC dapat dilihat pada persamaan (5).

$$AUC = \sum_{i=1}^{n=100} \frac{(X1+X2)}{Z(Y2-Y1)} \dots\dots\dots(5)$$

**Pemetaan Potensi Mata Air**

Pemetaan potensi mata air dapat dilakukan menggunakan fungsi *overlay* pada aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG). Proses pemetaan melibatkan penggabungan berbagai peta yang menjadi parameter penentu potensi mata air, yang kemudian menghasilkan nilai baru berupa indeks potensi mata air. Indeks ini selanjutnya akan dikelompokkan untuk memudahkan identifikasi dan analisis.

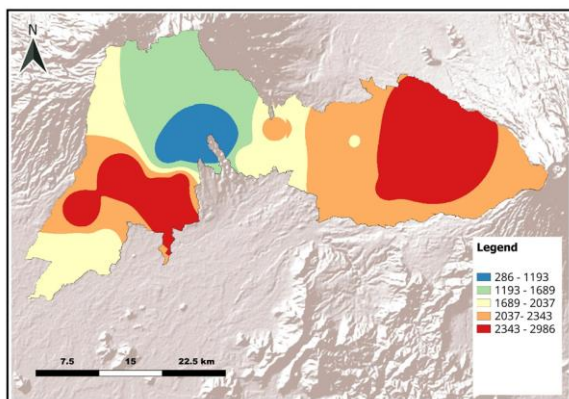
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Uji Multikolinearitas

Parameter yang digunakan dalam analisa spasial diuji menggunakan metode multikolinearitas. Pengujian multikolinearitas menunjukkan tidak ada parameter yang melebihi dari nilai 0,8 sehingga semua parameter digunakan dalam analisis penentuan potensi mata air tanpa menghapus atau mengeliminasi dari salah satu parameter.

### Faktor Potensi Mata Air

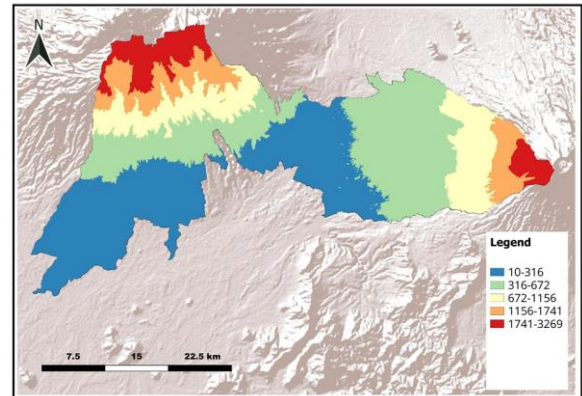
*Rainfall* atau curah hujan merupakan gambaran distribusi atau sebaran curah hujan di suatu wilayah dalam periode tertentu. Informasi ini sangat penting dalam kajian hidrologi, karena hidrologi memegang peranan penting, khususnya untuk lokasi-lokasi yang berpotensi menjadi sumber air (Al Hasyir dkk., 2024). Analisis hidrologi sangat dibutuhkan untuk mengetahui ketersediaan air di suatu wilayah. Fungsi lain dari pengolahan data curah hujan untuk mengetahui analisis risiko banjir dan kekeringan, perencanaan tata guna lahan, studi hidrologi, dan agrometeorologi. Parameter yang menggambarkan curah hujan pada peta di atas menggunakan data tahunan curah hujan stasiun hujan kabupaten jember dari tahun 2005 sampai tahun 2023. Wilayah yang mempunyai nilai parameter yang besar menggambarkan rata rata tahunan hujan di wilayah tersebut sering hujan atau mempunyai intensitas curah hujan yang tinggi (Adeyemi dkk., 2021). Peta Curah hujan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3 Peta *Rainfall*

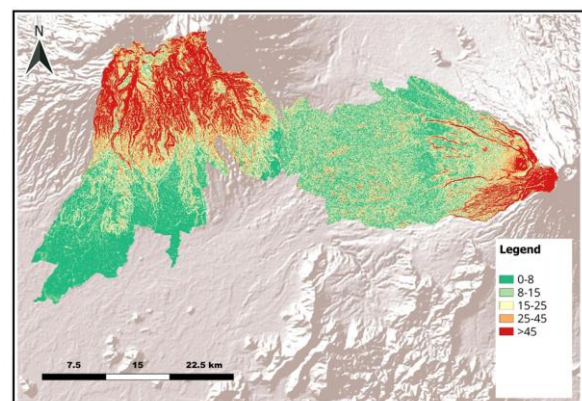
Peta Elevasi merupakan peta yang digunakan untuk menunjukkan ketinggian setiap titik di permukaan bumi berdasarkan data vertikal seperti rata rata permukaan laut. Fungsi dari peta elevasi adalah untuk analisis topografi, perencanaan infrastruktur, analisis risiko bencana dan lainnya. Parameter yang dipakai menggunakan ketinggian dari permukaan laut atau mdpl yang didapat dari hasil olahan data raster menggunakan aplikasi SIG.

Warna merah menunjukkan Daerah tersebut memiliki ketinggian antara 1269 - 3269 dari permukaan air laut (Asrafil dkk., 2022). Peta elevasi dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Peta Elevasi

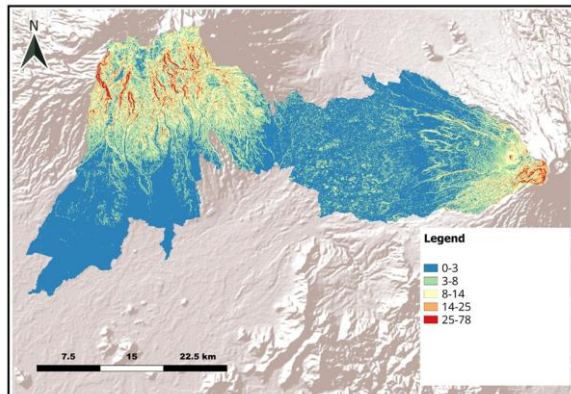
*slope* adalah Peta yang menunjukkan tingkat kemiringan lereng di setiap titik dari data raster. Peta *slope* berfungsi untuk menganalisis stabilitas lereng, studi erosi, perencanaan tata guna lahan. Kemiringan lereng dalam peta *slope* atau bisa disebut derajat kemiringan memiliki satuan derajat atau persen. Penggunaan data *slope* biasanya juga digunakan untuk mengklasifikasikan suatu wilayah dalam kelas kelas tertentu dan data yang didapat juga dapat menjadi bahan analisis untuk mengetahui hubungan antara variabel lain seperti curah hujan, jenis tanah dan lainnya (Boro dkk., 2022). Peta *Slope* dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 Peta *Slope*

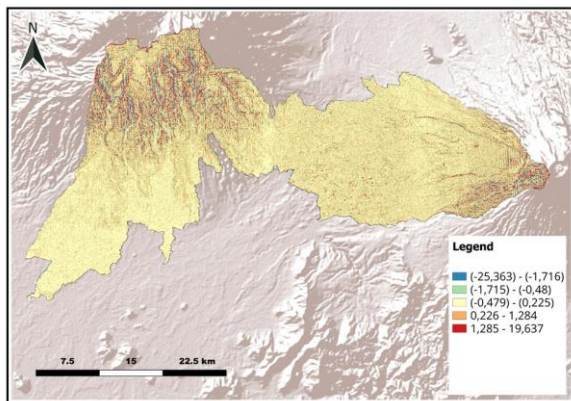
Peta TRI adalah peta yang menunjukkan ukuran kuantitatif dari variabilitas elevasi yang merepresentasikan nilai indeks elevasi secara visual dalam suatu wilayah geografis tertentu. Peta Tri berfungsi untuk analisis dalam bidang ekologi, geologi, dan hidrologi dalam memahami pengaruh medan terhadap faktor penyebab erosi, keanekaragaman hayati, dan aliran air. Peta TRI dibuat menggunakan data DEM dan analisis

menggunakan raster kalkulator (Moghaddam dkk., 2020). Peta TRI dapat dilihat pada gambar 6.



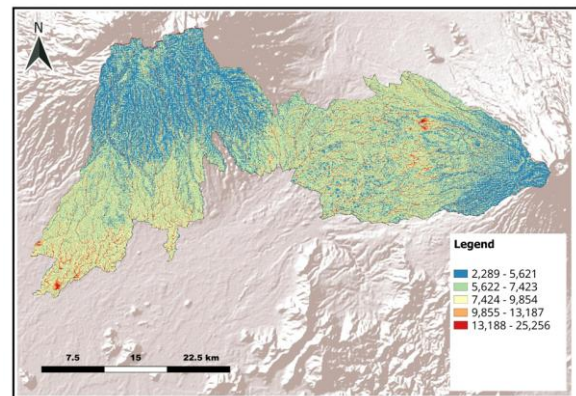
Gambar 6 Peta TRI

*Curvature* adalah pengolahan permukaan topografi yang menggambarkan kelengkungan pada suatu lereng. Nilai yang didapat dari pemrosesan *Curvature* menggambarkan permukaan yang berbentuk cekung atau cembung. Nilai positif menunjukkan bahwa permukaan tersebut berupa pegunungan sehingga memiliki kecenderungan mengalirkan air ke bawah dan mengurangi potensi terjadinya banjir. Nilai negatif menunjukkan bahwa permukaan tersebut berupa cekungan atau lembah yang dapat menyebabkan aliran air berkumpul dan meningkatkan potensi terjadinya banjir (Chen dkk., 2020). Peta *Curvature* dapat dilihat pada gambar 7.



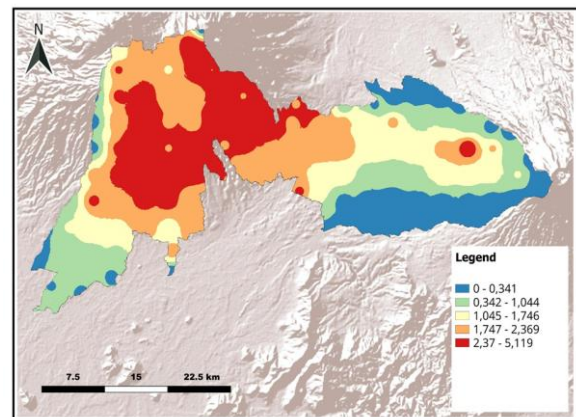
Gambar 7 Peta Surface Curvature

*Topographic Wetness Index (TWI)* adalah salah satu parameter dalam analisis geomorfologi yang digunakan untuk mengukur potensi kelembaban suatu area. Area dengan TWI tinggi cenderung memiliki akumulasi aliran permukaan yang lebih besar hal tersebut akan menyebabkan lebih banyak air yang terkonsentrasi di wilayah tersebut (Nugroho & Nugraha, 2022). Peta TWI dapat dilihat pada gambar 8.



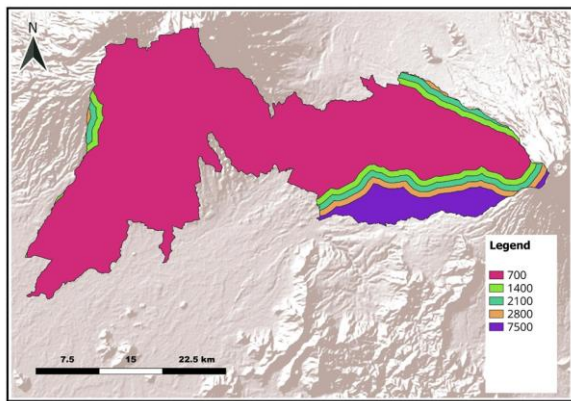
Gambar 8 Peta TWI

*River Density* adalah pengukuran sejauh mana saluran drainase menutupi suatu wilayah. Nilai kerapatan sungai dinyatakan sebagai Panjang total saluran drainase per unit luas wilayah ( $\text{km}/\text{km}^2$ ). Semakin tinggi nilai densitas maka semakin baik sistem pengaliran atau semakin rapat aliran pada wilayah tersebut. Wilayah yang memiliki Tingkat kerapatan sungai tinggi cenderung memiliki potensi air permukaan tinggi (Chen dkk., 2020). Peta *River Density* dapat dilihat pada gambar 9.



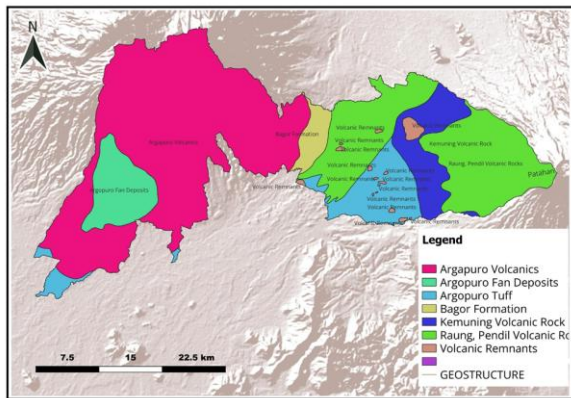
Gambar 9 Peta River Density

*Distance from river* adalah peta yang menunjukkan jarak setiap titik dari sungai terdekat. Peta *distance from river* digunakan untuk analisis banjir, studi kualitas air, pemetaan habitat. Parameter yang digunakan dalam analisis merupakan jarak dalam satuan meter antara sungai. Data yang digunakan dalam pengolahan ini menggunakan data DEMNAS yang diolah untuk mendapatkan das di wilayah studi berdasarkan batas das yang sudah ditentukan kementerian PUPR (Yousefi dkk., 2020). Peta *Distance from river* dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10 Peta *Distance From River*

Peta litologi adalah peta yang menunjukkan jenis batuan penyusun dalam suatu wilayah geografis. Fungsi dari peta ini adalah untuk studi geologi, analisis sumber daya alam, dan perencanaan tata ruang. Parameter yang digunakan dalam analisis ini merupakan jenis batuan seperti batu pasir, batuan kapur atau lainnya. Data yang digunakan merupakan data SHP yang diolah menggunakan aplikasi SIG. Peta Litologi dapat dilihat pada gambar 11.

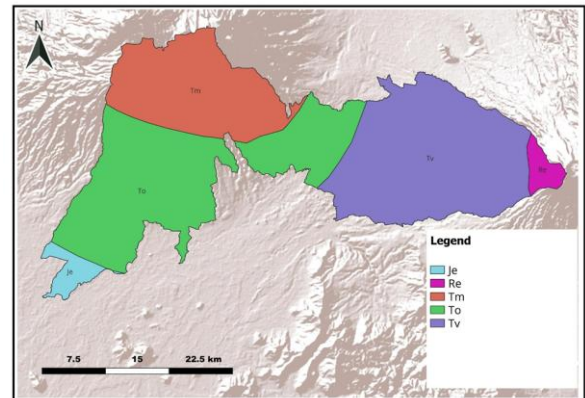


Gambar 11 Peta Litologi

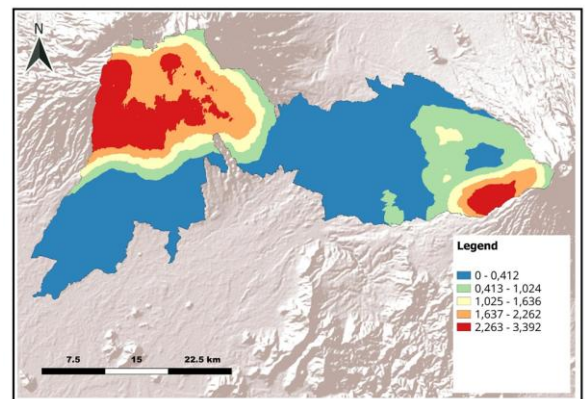
Peta jenis tanah atau *soil type* adalah peta yang menunjukkan jenis tanah dalam suatu lokasi geografis tertentu yang dijadikan untuk penelitian. Fungsi dari peta ini adalah untuk studi terkait jenis tanah, agronomi, perencanaan tata guna lahan. Parameter yang dianalisis meliputi jenis tanah di lokasi penelitian seperti latosol, andosol dan lainnya berdasarkan data SHP yang sudah ada. Aplikasi SIG digunakan untuk mengolah SHP agar sesuai dengan kebutuhan penelitian (Chen dkk., 2020). Peta Jenis tanah dapat dilihat pada gambar 12.

*Lineament Density* merupakan analisis kerapatan kelurusan untuk menentukan zona permeabilitas. Lineament sendiri adalah garis lurus atau melengkung pada permukaan bumi yang

terbentuk akibat adanya struktur geologi yang lemah atau retakan. *Lineament Density* memiliki korelasi yang kuat dengan potensi keberadaan mata air. Lineament pada dasarnya adalah retakan atau zona lemah pada batuan. Ketika air hujan meresap ke dalam tanah maka air akan mengikuti jalur lineament yang mudah ditembus. Pada area yang memiliki kerapatan kelurusan yang tinggi maka hal tersebut menandakan bahwa terdapat banyak jalur aliran bawah tanah yang saling berpotongan. Hal ini menyebabkan terdapat konsentrasi air di beberapa titik yang kemudian muncul ke permukaan dalam bentuk mata air (Hairudin dkk., 2022). Peta *Lineament Density* dapat dilihat pada gambar 13.



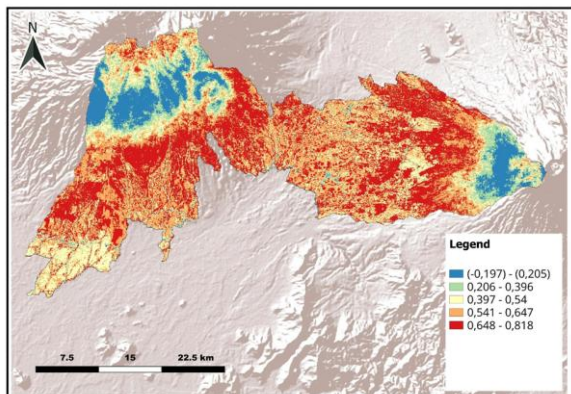
Gambar 12 Peta *Soil Type* atau jenis tanah



Gambar 13 Peta *Lineaments Density*

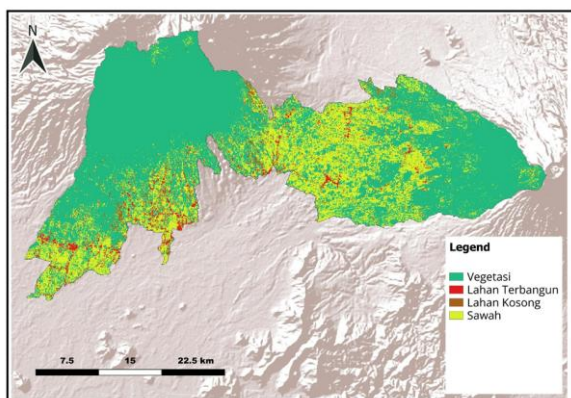
*Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* merupakan indeks yang mengukur kepadatan vegetasi pada suatu daerah. Nilai indeks diperoleh dari perbandingan reflektansi cahaya pada panjang gelombang inframerah (NIR) dan merah yang diolah menggunakan data citra sentinel-2 dengan Band 4 (merah) dan band 8 (NIR). Citra yang digunakan pada penelitian ini diambil pada sepanjang tahun 2023. Nilai NDVI berkisar antara -1 hingga +1, Semakin tinggi nilai NDVI menunjukkan vegetasi yang padat serta memiliki

potensi mata air yang tinggi (Asrafil dkk., 2022). Peta NDVI dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14 Peta NDVI

Tutupan lahan didefinisikan sebagai jenis-jenis tutupan fisik dan biologis yang ada dipermukaan bumi. Tutupan lahan adalah salah satu hal yang menentukan potensi mata air. Perubahan tutupan lahan berpengaruh terhadap ketersediaan dan kualitas air tanah yang muncul sebagai mata air. Tutupan lahan pada penelitian ini diperoleh dari citra landsat 8 yang diolah menggunakan platform Google Earth Engine (GEE) dengan metode klasifikasi Smile Chart. Jumlah training sampel yang digunakan untuk tutupan lahan vegetasi, lahan terbangun, lahan kosong dan sawah masing-masing yaitu 16, 30, 4, 27 (Asrafil dkk., 2022). Peta tutupan lahan dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15 Peta Tutupan Lahan

### Perhitungan Bobot Frequency Ratio

Perhitungan FR (*Frequency Ratio*) diawali dengan menghitung peta parameter sebanyak tiga belas yang telah diklasifikasi ulang (reclass) menggunakan resolusi  $30 \times 30$  piksel. Luas setiap kelas dihitung berdasarkan jumlah piksel yang diperoleh. Presentase luas setiap kelas diperoleh dengan membagi jumlah piksel masing-masing kelas dengan total piksel. Selanjutnya, dilakukan perhitungan kelas piksel mata air. Kelas piksel mata

air dihitung berdasarkan data parameter peta yang telah diklasifikasi ulang, kemudian dilakukan tabulasi area dengan titik mata air yang telah diubah menjadi raster menggunakan metode raster to point dengan resolusi  $100 \times 100$  piksel. Pemilihan resolusi piksel mempertimbangkan kemampuan komputer dalam mengolah data serta cakupan area raster yang dipetakan. Resolusi piksel yang lebih kecil meningkatkan keakuratan data, tetapi memperpanjang waktu pemrosesan dan mengurangi kinerja komputer akibat ukuran data yang besar. Peneliti telah melakukan beberapa eksperimen dengan resolusi piksel  $5 \times 5$ ,  $10 \times 10$ ,  $20 \times 20$ ,  $30 \times 30$ , dan  $40 \times 40$  untuk memperoleh keseimbangan antara akurasi data dan efisiensi pemrosesan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa resolusi  $30 \times 30$  piksel merupakan ukuran yang paling sesuai untuk penelitian ini. Sementara itu, resolusi raster titik mata air dipilih sebesar  $100 \times 100$  piksel untuk menjangkau area yang lebih luas dengan jumlah data mata air yang terbatas. Hasil tabulasi area kemudian dibagi dengan 900, yaitu hasil perkalian resolusi piksel parameter yang ditabulasi. Selanjutnya, presentase kelas piksel mata air dihitung dan digunakan untuk menentukan bobot FR dengan membagi jumlah kelas piksel mata air pada masing-masing kelas dengan jumlah kelas piksel parameter pada kelas yang sama. Bobot FR yang diperoleh kemudian dinormalisasi menggunakan RF (*Relative Frequency*) berdasarkan Persamaan 2.2. Data RF yang telah dihitung kemudian digunakan dalam Persamaan 2.3 untuk menentukan PR (*Prediction Rate*).

Hasil analisis FR pada parameter TRI menunjukkan nilai RF (*Relative Frequency*) pada kelas 0-3, 3-8, 8-14, 14-25, dan 25-78, berturut-turut sebesar 0,591; 0,349; 0,061; 0,00; dan 0,000. Wilayah dengan topografi beragam dengan keterjalannya tinggi seperti lereng curam, lembah, atau jurang memungkinkan air permukaan mengalir ke celah-celah dan retakan, yang meningkatkan infiltrasi dan menyimpan air di bawah tanah. Curah hujan (*Rainfall*) menjadi sumber utama air permukaan dan air bawah tanah, dengan curah hujan tinggi meningkatkan peluang infiltrasi. Hasil FR menunjukkan nilai RF untuk kelas curah hujan 286-1193, 1193-1689, 1689-2037, 2037-2343, dan 2343-2986 masing-masing sebesar 0,160; 0,134; 0,249; 0,269; dan 0,188.

Elevasi (*Elevation*) mempengaruhi munculnya mata air karena mata air sering ditemukan di wilayah dengan perbedaan elevasi yang besar. Hasil FR menunjukkan nilai RF dari kelas 316, 672, 1156, 1741, dan 3269 berturut-turut sebesar 0,442; 0,479; 0,080; 0,000; dan 0,000. Kemiringan lereng (*Slope*) yang curam mempercepat aliran air permukaan dan meningkatkan infiltrasi di area

tertentu, yang mendukung terbentuknya mata air. Hasil FR menunjukkan nilai RF untuk kelas 0-8, 8-15, 15-25, 25-45, dan >45 berturut-turut sebesar 0,326; 0,295; 0,234; 0,125; dan 0,021. Kelengkungan permukaan (*Curvature*) menunjukkan bentuk cekung atau cembung suatu wilayah yang mempengaruhi akumulasi air. Hasil FR menunjukkan nilai RF untuk kelas (-25,363) - (-1,716), (-1,715) - (-0,48), (-0,479) - (0,225), 0,226 - 1,284, dan 1,285 - 19,637 berturut-turut sebesar 0,012; 0,306; 0,368; 0,257; dan 0,057. *Topographic Wetness Index* (TWI) menunjukkan potensi area untuk menyimpan kelembapan. Hasil FR menunjukkan nilai RF pada kelas TWI 2,289 - 5,621, 5,622 - 7,423, 7,424 - 9,854, 9,855 - 13,187, dan 13,188 - 25,256 masing-masing sebesar 0,050; 0,164; 0,181; 0,260; dan 0,345.

NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) mengukur kerapatan vegetasi yang membantu penyerapan air bawah tanah. Hasil FR menunjukkan nilai RF untuk kelas (-0,197) - (0,205), 0,206 - 0,396, 0,397 - 0,54, 0,541 - 0,647, dan 0,648 - 0,818 berturut-turut sebesar 0,009; 0,076; 0,282; 0,294; 0,340. *River Density* atau kerapatan sungai adalah ukuran jumlah sungai atau aliran air per satuan luas tanah. Semakin tinggi kerapatan sungai, semakin banyak jalur bagi air untuk terakumulasi di bawah permukaan, meningkatkan potensi munculnya mata air. Hasil perhitungan FR menunjukkan RF dari kelas 0 - 0,341; 0,342 - 1,044; 1,045 - 1,746; 1,747 - 2,369; 2,37 - 5,119 secara berturut-turut 0,193; 0,185; 0,231; 0,176; 0,215. *Distance from River* merupakan parameter yang mengukur seberapa jauh suatu titik berada dari sungai atau aliran air. Semakin dekat dengan sungai, semakin besar kemungkinan mata air terbentuk di dekat aliran tersebut, karena aliran air bawah tanah umumnya terkait dengan sungai. Hasil perhitungan FR menunjukkan RF dari kelas 0-700; 700-1400; 1400-2100; 2100-2800; 2800-7500 secara berturut-turut 0,232; 0,049; 0,076; 0,368; 0,274. Litologi adalah karakteristik fisik dan komposisi batuan di suatu daerah. Jenis batuan yang berpori seperti batu kapur lebih mendukung terbentuknya mata air, karena memungkinkan infiltrasi air yang lebih tinggi. Hasil perhitungan FR menunjukkan RF dari kelas *Argapuro Volcanics*; *Bagor Formation*; *Raung*; *Pendil Volcanic Rocks*; *Argopuro Tuff*; *Argopuro Fan Deposits*; *Volcanic Remnants*; *Kemuning Volcanic Rock* secara berturut-turut 0,115; 0,221; 0,114; 0,130; 0,060; 0,000; 0,360.

Jenis tanah atau Jenis tanah mengacu pada sifat fisik dan kimia tanah di suatu area, seperti tekstur, struktur, dan permeabilitasnya. Tanah dengan permeabilitas tinggi memfasilitasi pergerakan dan penyimpanan air, sehingga mendukung terbentuknya mata air. Hasil

perhitungan FR menunjukkan RF dari kelas To; Tm; Je; Tv; Re secara berturut-turut 0,427; 0,151; 0,000; 0,421; 0,000. *Lineament Density* atau Kerapatan liniament adalah jumlah patahan, retakan, atau jalur struktural di batuan per satuan luas. Daerah dengan kerapatan liniament tinggi memiliki lebih banyak jalur untuk air meresap dan terkumpul, sehingga meningkatkan potensi terbentuknya mata air. Hasil perhitungan FR menunjukkan RF dari kelas 0 - 0,412; 0,413 - 1,024; 1,025 - 1,636; 1,637 - 2,262; 2,263 - 3,392 secara berturut-turut 0,470; 0,247; 0,229; 0,030; 0,024. *Landuse* atau tata guna lahan menggambarkan cara penggunaan tanah, seperti pertanian, hutan, atau kawasan terbangun. Lahan yang digunakan untuk pertanian atau hutan cenderung mendukung infiltrasi dan penyimpanan air di dalam tanah, sementara lahan terbangun mengurangi kemampuan air untuk terserap. Hasil perhitungan FR menunjukkan RF dari kelas Vegetasi; Lahan Terbangun; Lahan Kosong; Sawah secara berturut-turut 0,190; 0,235; 0,159; 0,417.

Hasil perhitungan nilai *Relative Frequency* atau RF pada setiap parameter kemudian dilanjutkan dengan menghitung nilai maksimum dan minimum dari nilai RF. Hasil perhitungan nilai maksimal dan minimal dari RF dari setiap parameter digunakan untuk mengetahui nilai PR (*Prediction Rate*). Hasil Perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2** Perhitungan *Prediction Rate*

No.	Parameter	PR
1	TRI	10,57
2	<i>Elevation</i>	8,57
3	<i>Lineament Density</i>	7,98
4	Jenis Tanah	7,65
5	<i>Litologi</i>	6,45
6	<i>Curvature</i>	6,38
7	NDVI	5,91
8	<i>Distance from River</i>	5,71
9	<i>Slope</i>	5,46
10	TWI	5,28
11	Tutupan Lahan	4,63
12	<i>Rainfall</i>	2,43
13	<i>River Density</i>	1,00

Data Perhitungan *Prediction Rate* yang didapat pada Tabel 2 kemudian diurutkan dari nilai paling tinggi hingga nilai paling rendah. Hasilnya didapatkan nilai tertinggi pada parameter TRI (*Terrain Ruggedness Index*) dengan nilai 10,57;

*Elevation* dengan nilai 8,57; *Lineament Density* dengan nilai 7,98; jenis tanah dengan nilai 7,98; Litologi dengan nilai 6,45; *Curvature* dengan nilai 6,38; *NDVI* dengan nilai 5,91; *Distance from River* dengan nilai 5,71; *Slope* dengan nilai 5,46; *TWI* dengan nilai 5,28; Tutupan lahan dengan nilai 4,63; *Rainfall* dengan nilai 2,43; dan *River Density* dengan nilai 1,00. Hasil tertinggi dari *Prediction Rate* adalah parameter TRI (*Terrain Ruggedness Index*) dengan nilai 10,57; hal ini menunjukkan TRI menjadi parameter yang paling berpengaruh terhadap potensi mata air. TRI digunakan untuk menghitung perbedaan rata-rata antara piksel dengan sel-sel di sekitarnya dan juga digunakan untuk mengetahui serta mengukur heterogenitas dari suatu lanskap (Moghaddam dkk., 2020).

TRI digunakan sebagai parameter untuk menghitung statistik geomorfometri dengan menggambarkan dan mengukur distribusi spasial dalam wilayah penelitian yang berdampak pada potensi mata air (Li dkk., 2023). Parameter ini tidak hanya menjadi alat untuk menilai heterogenitas lanskap, tetapi digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan dan dinamika air tanah (Li dkk., 2023). TRI sebagai salah satu faktor topografi mempengaruhi proses pengisian ulang air tanah, percepatan dan perlambatan aliran air, konvergensi dan divergensi aliran air (Lee dkk., 2020). Penelitian yang dilakukan oleh Li dkk. (2023) menyebutkan bahwa Faktor topografi seperti TRI, kemiringan, indeks konvergensi dan faktor topografi lainnya menjadi faktor kedua terpenting setelah faktor tanah dari hasil analisis nilai kepentingan prediktor. *Elevation* dengan nilai *Prediction Rate* 8,57 menunjukkan besarnya pengaruh elevasi terhadap potensi mata air. Pengaruh elevasi terhadap mata air meliputi pola curah hujan, proses infiltrasi air ke dalam tanah, pola aliran air, permeabilitas tanah, dan kondisi geologi suatu tempat (Chen dkk., 2020). *Lineament Density* dengan nilai *Prediction Rate* 7,98 menunjukkan pengaruhnya terhadap potensi mata air yang cukup signifikan. Pengaruh *Lineament Density* terhadap potensi mata air dengan mempengaruhi jalur pergerakan air tanah, semakin tinggi kepadatan *Lineament Density* potensi mata air akan semakin besar karena proses infiltrasi dan penyimpanan air yang lebih baik. *Lineament Density* juga saling berhubungan dengan faktor geologi dan topografi dalam penentuan zona air tanah (Doke dkk., 2020). Jenis tanah dengan nilai 7,98 menunjukkan pengaruhnya terhadap potensi mata air yang cukup signifikan setelah *lineament density*. Jenis tanah mempengaruhi dan menentukan proses infiltrasi, penyimpanan air, dan pola aliran air tanah. Tanah dengan permeabilitas tinggi cenderung mudah dalam membentuk akuifer air dan pembentukan mata air baru, sebaliknya tanah

dengan permeabilitas rendah cenderung meningkatkan limpasan air di permukaan sehingga mengurangi ketersediaan air tanah (Lee dkk., 2020).

**Peta Potensi Mata Air**

Pemetaan potensi mata air dilakukan dengan memanfaatkan analisis spasial dan pemberian bobot pada data menggunakan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG). Hasil analisis spasial yang telah dilakukan akan divalidasi menggunakan data titik mata air untuk mengetahui dan mengevaluasi tingkat akurasi metode yang digunakan dalam pembuatan peta potensi mata air. Hasil pembobotan menggunakan metode frequency ratio pada setiap faktor kemudian dihitung dengan menjumlahkan setiap parameter dibagi dengan *Prediction Rate* setiap parameter menggunakan raster kalkulator pada aplikasi SIG untuk mendapatkan peta potensi mata air. Peta yang sudah didapatkan kemudian dilakukan reklasifikasi dengan membagi hasil olahan data raster kalkulator menjadi lima kelas yaitu sangat rendah, rendah, sedang, banyak, dan sangat banyak. Hasil reklasifikasi dapat dilihat pada Tabel 3.

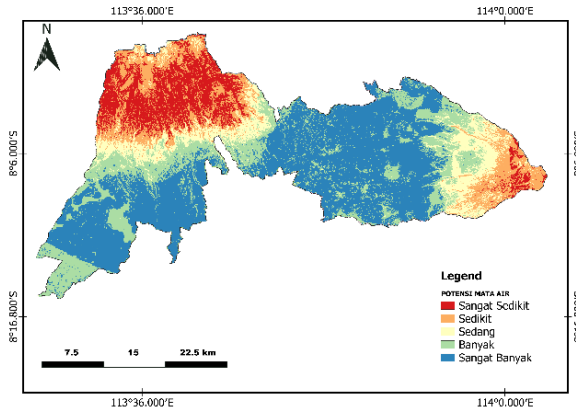
**Tabel 3** Perhitungan *Prediction Rate*

No	Kelas	Luas (ha)	Indeks%
1	Sangat Rendah	121100	13%
2	Rendah	119929	13%
3	Sedang	108061	11%
4	Tinggi	167477	18%
5	Sangat Tinggi	429901	45%
	<b>Total</b>	946468	

Hasil reklasifikasi diatas menunjukkan potensi mata air secara keseluruhan di 9 kecamatan yang dibatasi DAS Bedadung dan tidak dilayani PDAM. Peta potensi mata air dapat dilihat pada Gambar 16. Hasil analisis pada peta potensi mata air menunjukkan 45% dari wilayah studi memiliki indeks potensi mata air yang sangat tinggi. Tingkat kemunculan kategori kelas tinggi juga masih mendominasi pada area studi dengan persentase 18% dari total wilayah diikuti dengan tingkat kategori sedang sebanyak 11% dari total wilayah, tingkat kategori rendah 13% dari total wilayah, dan tingkat sangat rendah 13% dari total wilayah.

Peta potensi mata air pada Gambar 16 kemudian dianalisis untuk mengetahui persentase kategori dari masing-masing kecamatan. Kecamatan Bangsalsari menunjukkan potensi mata air yang relatif baik, dengan 53% wilayahnya termasuk kategori sangat tinggi dan 25% dalam kategori

tinggi. Persentase ini mengindikasikan bahwa hampir 78% area kecamatan memiliki ketersediaan air yang cukup melimpah. Berbanding terbalik dengan Kecamatan Bangsalsari, Kecamatan Panti justru menampilkan profil yang sebaliknya, di mana 30% wilayahnya tergolong sangat rendah dan 21% rendah, sehingga mencapai 51% area dengan potensi air yang terbatas.



**Gambar 16** Peta Potensi Mata Air

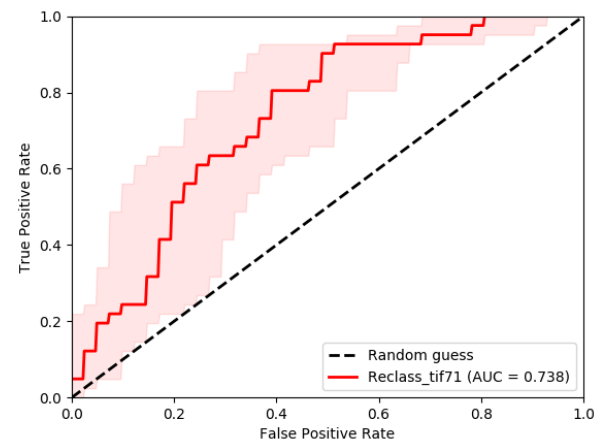
Kecamatan Sukorambi, Arjasa, Sumberjambe, dan Ledokombo merupakan wilayah dengan persentase kategori sangat tinggi terbanyak setelah Kecamatan Bangsalsari untuk pemetaan potensi mata air. Persentase masing-masing kecamatan diantaranya, Kecamatan Sukorambi mencatat 49% wilayah dalam kategori sangat tinggi, sementara Arjasa mencapai 42%, Sumberjambe 36%, dan Ledokombo 40% wilayahnya termasuk kategori sangat tinggi. Persentase ini menunjukkan ketersediaan sumber air yang sangat melimpah di wilayah-wilayah tersebut. Kecamatan Sukowono memiliki 31% wilayah dengan kategori sangat tinggi dan 31% kategori tinggi, sementara Kecamatan Kalisat menunjukkan 35% sangat tinggi dan 31% tinggi. Nilai presentase ini mengindikasikan ketersediaan air yang cukup baik namun tidak seoptimal beberapa kecamatan lainnya dengan kategori sangat tinggi yang lebih banyak. Kecamatan Jelbuk turut memberikan kontribusi dalam potret keseluruhan potensi mata air, dengan 27% wilayahnya tergolong sangat tinggi, 12% tinggi, 14% sedang, 22% rendah, dan 25% sangat rendah. Hal ini menunjukkan wilayah Kecamatan Jelbuk memiliki sumber daya air yang kurang baik jika dibandingkan kecamatan lainnya. Distribusi potensi mata air menunjukkan pentingnya pendekatan pengelolaan yang terintegrasi. Wilayah dengan kategori potensi tinggi hingga sangat tinggi memerlukan kebijakan konservasi yang berkelanjutan untuk menjaga kelestarian mata air. Sementara itu, wilayah dengan kategori rendah hingga sangat rendah membutuhkan intervensi strategis, seperti

pembangunan sistem irigasi dan penghijauan, untuk meningkatkan daya dukung lingkungan terhadap ketersediaan air. Pengelolaan yang tepat, potensi mata air di wilayah DAS Bedadung dapat dioptimalkan untuk mendukung keberlanjutan ekosistem dan memenuhi kebutuhan air masyarakat.

**Pengujian Akurasi Model**

Peta yang telah dibuat kemudian dilakukan validasi menggunakan uji akurasi model untuk menilai potensi mata air di wilayah DAS Bedadung. Pengujian akurasi model ditujukan untuk mengetahui akurasi dari prediksi model potensi mata air menggunakan metode ROC (Receiver Operating Characteristic). Validasi peta dilakukan menggunakan tools ArcSDM dengan membandingkan 30% data mata air yang tidak digunakan dalam proses pelatihan sebagai data testing dan peta potensi mata air yang diperoleh sebagai data yang diuji.

Nilai yang diperoleh dari kurva ROC adalah Area Under Curve (AUC), yang berkisar antara 0 hingga 1. AUC diklasifikasikan menjadi lima kategori: Lemah (0-0,5), Sedang (0,6-0,7), Baik (0,7-0,8), Sangat Baik (0,8-0,9), dan Sempurna (0,9-1) (Maskoen & Purnama, 2018). Hasil perhitungan uji akurasi model menggunakan kurva ROC disajikan pada Gambar 17. Hasil analisis AUC pada penelitian ini mendapatkan nilai 0,738 atau 73,8% yang menunjukkan bahwa model tergolong baik. Hal ini menyatakan bahwa metode *Frequency Ratio* dapat digunakan dengan baik untuk menganalisis area berpotensi mata air di DAS Bedadung dengan menggunakan 136 titik mata air dan luasan wilayah studi 9590.83 km<sup>2</sup>.



**Gambar 17** Hasil Nilai Kurva ROC

Penelitian yang dilakukan oleh Moghaddam dkk. (2020) mendapatkan hasil AUC sebesar 70,7 % dengan menggunakan data 141 titik mata air dan ruang lingkup penelitian 7438 km<sup>2</sup>. Penelitian yang

dilakukan oleh Masoud dkk. (2022) mendapatkan nilai validasi 80,9% dengan menggunakan 44 sumur produksi air tanah dan ruang lingkup wilayah studi 14250 km<sup>2</sup>. Perbedaan hasil yang didapatkan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti parameter yang digunakan, luasan wilayah studi, jumlah mata air, jenis mata air yang digunakan, metode yang digunakan dan faktor pengkodisian lainnya.

## KESIMPULAN

Potensi mata air di Daerah Aliran Sungai Bedadung dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk *Rainfall*, elevasi, kemiringan lereng, indeks kekasaran medan (TRI), kelengkungan permukaan, indeks kelembaban topografi, kerapatan sungai, jarak dari sungai, litologi, jenis tanah, kerapatan kelurusan, indeks vegetasi (NDVI), dan penggunaan lahan. Analisis dengan metode Frequency Ratio menunjukkan bahwa parameter TRI memiliki nilai *Prediction Rate* tertinggi sebesar 10,57, sedangkan parameter *River Density* memiliki nilai terendah sebesar 1,00, yang mengindikasikan bahwa kekasaran medan lebih berpengaruh terhadap potensi mata air dibandingkan dengan kerapatan sungai. Validasi menggunakan metode ROC menghasilkan nilai AUC sebesar 73,8%, yang menunjukkan bahwa model pemetaan memiliki akurasi yang baik. Secara spasial, kecamatan dengan persentase tertinggi dalam kategori potensi mata air tinggi adalah Bangsalsari (78%), Sukorambi (72%), Arjasa (61%), Sumberjambe (58%), dan Ledokombo (62%), sedangkan Kecamatan Panti memiliki 51% wilayah dengan potensi air terbatas, menunjukkan bahwa daerah ini memiliki keterbatasan sumber daya air yang lebih signifikan dibandingkan dengan kecamatan lainnya.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan apresiasi yang setinggi-tingginya kepada Universitas Jember atas dukungan yang diberikan melalui pendanaan Program DRTPM, yang telah memungkinkan terlaksananya penelitian ini hingga selesai. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para mahasiswa yang telah berkontribusi secara aktif dalam membantu pelaksanaan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adeyemi, O., Grove, I. G., Peets, S., Domun, Y., & Norton, T. (2021). Advanced monitoring and management systems for improving sustainability in precision irrigation. *Sustainability*, 13(3), 1116. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su9030353>
- Al Hasyir, M. H., Soenarto, B., Nurhayati, Y., Sembiring, K., & Naibaho, P. R. T. (2024). Perhitungan Awal Imbuhan Airtanah Alami Daerah Aliran Sungai Cikapundung-Gandok (Kajian Perbandingan). *Jurnal Sumber Daya Air*, 20(2), 99–114. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.32679/jsda.v20i2.902>
- Asrafil, A., Botjing, M., Mulyati, S., & Lestari, S. (2022). *Sosialisasi Upaya Konservasi Sumber Air Bersih di Tatanga Kota Palu*. Jurnal Pengabdian Masyarakat. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.20527/btjpm.v4i2.5125>
- Bappenas. (2023). *Indonesia paparkan krisis air, ekonomi biru, hingga KSSST di World Economic Forum*. Bappenas.
- Bappenas. (2024). *Metadata indikator: Pilar pembangunan lingkungan (Edisi II)*. Kedeputusan Bidang Kemaritiman dan Sumber Daya Alam, Kementerian PPN/Bappenas.
- Boro, C., Taryana, D., & Masitoh, F. (2022). *Evaluasi potensi Mata Air Terenapu untuk suplai kebutuhan air bersih penduduk Desa Rendu Butowe Kecamatan Aesesa Selatan Kabupaten Nagekeo*. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.17977/um063v2i11p1076-1088>
- Boughariou, E., Allouche, N., Brahim, F., Nasri, G., & Bouri, S. (2021). Delineation of groundwater potentials of Sfax region, Tunisia, using fuzzy analytical hierarchy process, frequency ratio, and weights of evidence models. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 14749 – 14774. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10668-021-01270-x>
- BPBD Kabupaten Jember. (2024). *Laporan Kekeringan Kabupaten Jember*.
- Chen, W., Zhao, X., Tsangaratos, P., Shahabi, H., Ilija, I., Xue, W., Wang, X., & Ahmad, B. (2020). Evaluating the usage of tree-based ensemble methods in groundwater spring potential mapping. *Journal of Hydrology*, 583, 124602. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124602>
- Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Jember. (2024). *Curah Hujan*.
- Doke, A., Pardeshi, S. D., & Das, S. (2020). Drainage morphometry and groundwater potential mapping: application of geoinformatics with frequency ratio and influencing factor approaches. *Environmental Earth Sciences*, 79(16).

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12665-020-09137-6>
- Hairudin, N., Rawi, N., Roslan, N., & Simon, N. (2022). *Integrating Lineament Density in the DRASTIC Model for Better Groundwater Assessment*. Sains Malaysiana. <https://doi.org/DOI:10.17576/jsm-2022-5106-04>
- Kompascom. (2023). *Laporan SDGs 2022: Miliaran orang masih kekurangan akses air bersih dan sanitasi layak*. <https://lestari.kompas.com/read/2023/07/12/10000186/laporan-sdgs-2022-miliaran-orang-masih-kekurangan-akses-air-bersih-dan>
- Krisnayani, N. K., Liestiandre, H. K., & Pranjaya, I. G. P. A. (2021). Pengaruh Media Sosial dan Daya Tarik Wisata terhadap Keputusan Berkunjung Wisatawan Domestik di Pantai Melasti, Bali. *Jurnal Kepariwisataaan*, 20(2), 134–143. <https://doi.org/DOI:10.52352/jpar.v20i2.496>
- Lee, S., Hyun, Y., Lee, S., & Lee, M. J. (2020). Groundwater potential mapping using remote sensing and GIS-based machine learning techniques. *Remote Sensing*, 12(7). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs12071200>
- Li, Y., Abdelkareem, M., & Al-Arifi, N. (2023). *Mapping Potential Water Resource Areas Using GIS-Based Frequency Ratio and Evidential Belief Function Water*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w15030480>
- Maskoen, T. T., & Purnama, D. (2018). Area Under the Curve dan Akurasi Cystatin C untuk Diagnosis Acute Kidney Injury pada Pasien Politrauma. *Maj. Kedokt. Bandung*, 50(4), 259–264. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15395/mk.b.v50n4.1342>
- Masoud, A., Pham, Q., Alezabawy, A., & El-Magd, S. (2022). *Efficiency of Geospatial Technology and Multi-Criteria Decision Analysis for Groundwater Potential Mapping in a Semi-Arid Region*. Water. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w14060882>
- Mirza, M. I., Andawayanti, U., & Sisinggih, D. (2023). Pemetaan Sebaran Indeks Bahaya Erosi dan Arahan Penggunaan Lahan Berbasis Sistem Informasi Geografis pada DAS Bedadung Kabupaten Jember. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(2), 334–345. <https://doi.org/https://doi.org/10.21776/ub.jtr.esda.2023.003.02.029>
- Moghaddam, D., Rahmati, O., Haghizadeh, A., & Kalantari, Z. (2020). *A Modeling Comparison of Groundwater Potential Mapping in a Mountain Bedrock Aquifer: QUEST, GARP, and RF Models*. Water. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w12030679>
- Novita, E., Wahyuningsih, S., Murtado, K. A., & Pradana, H. A. (2021). Estimasi Perubahan Kualitas Air Sungai Bedadung Berdasarkan Status Mutu Air. *Dampak*, 18(2), 51. <https://doi.org/https://doi.org/10.25077/dampak.18.2.51-62.2021>
- Nugroho, J. T., & Nugraha, A. L. (2022). Identifikasi Zona Potensi Air Tanah Berbasis Sistem Informasi Geografis Dan Analytical Hierarchy Process (Studi Kasus: Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta). *Elipsoida: Jurnal Geodesi dan Geomatika*, 5(1), 9–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/elipsoida.2022.16641>
- Parahita, F., Baskoro, D. P. T., & Darmawan, D. (2022). Analisis Daya Dukung Sumber Daya Air Untuk Meningkatkan Ketersediaan Air Di Kabupaten Bandung, Jawa Barat. *Jurnal Sumber Daya Air*, 18(2), 97–108. <https://doi.org/DOI:10.32679/jsda.v18i2.721>
- Patle, D., Awasthi, M. K., Sharma, S. K., & Tiwari, Y. K. (2022). Application of geoinformatics with frequency ratio (FR) model to delineate different groundwater potential zones in Ken Basin, India. *Indian Journal of Ecology*, 49(2), 313–323. <https://doi.org/DOI:10.55362/IJE/2022/3523>
- Shafira, A., Kristiani, F., & Yong, B. (2023). Penerapan Metode Klasifikasi Perangkat Lunak ArcMap pada Pemetaan Penyebaran Penyakit Dengue di Bandung. *Limits: Journal of Mathematics and Its Applications*, 20(1), 39–52. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.12962%2Flimits.v20i1.9226>
- United States Geological Survei. (2024). *Earth Explorer*. U.S. Department of the Interior. <https://earthexplorer.usgs.gov>
- Widana, I. W., & Muliani, N. P. L. (2020). *Uji persyaratan analisis*.
- Yariyan, P., Avand, M., Omidvar, E., Pham, Q., Linh, N., & Tiefenbacher, J. (2021). Optimization of statistical and machine learning hybrid models for groundwater potential mapping. *Geocarto International*, 37, 3877 – 3911. <https://doi.org/DOI:10.1080/10106049.2020.1870164>

Yousefi, S., Sadhasivam, N., Pourghasemi, H. R., Ghaffari Nazarlou, H., Golkar, F., Tavangar, S., & Santosh, M. (2020). Groundwater spring potential assessment using new ensemble data mining techniques. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 157. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107652>