

Analisis Spasial Kerentanan Banjir Berbasis Geospasial di DAS Marisa Kabupaten Gorontalo

Risman Jaya^{1*}, Ahmad Syamsu Rijal S¹, Gifari S Pratama¹, Hendra², Dewa Oka Suparwata³,
La Ode Juni Akbar⁴

¹ Program Studi Geografi, Fakultas Sains dan Ilmu Komputer, Universitas Muhammadiyah Gorontalo

² Programs Studi Pendidikan Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Gorontalo

³ Program Studi Agribisnis, Fakultas Sains dan Ilmu Komputer, Universitas Muhammadiyah Gorontalo

⁴ Program Studi Perencanaan Wilayah, Fakultas Teknik dan Ilmu Kesehatan, Universitas Bina Taruna Gorontalo

*e-mail: rismanjaya@umgo.ac.id

Abstract

Historically, flooding in the Marisa River Basin (DAS) has had a significant impact on residential and agricultural areas, but spatial studies to map flood vulnerability are still very limited in the Marisa watershed. This study aims to map and identify the level of flood vulnerability in the Marisa watershed. Geographic Information Systems (GIS) as a geospatial approach with a scoring method for the main parameters in identifying flood vulnerability. The novelty of the study lies in the use of geological data and soil types, rainfall and topography combined with land use data in the Marisa watershed to identify flood vulnerability. The results show that areas with a high level of vulnerability are dominated by flat slopes, with an affected residential area reaching 773.36 Ha and rice fields 2,150.80 Ha, especially in Tunggulo and Tenilo Villages. Extreme rainfall in the upstream area and changes in land use are among the triggers of flooding, while Hydromorphic Alluvial soil and Qpr lithology in the downstream area exacerbate inundation. Therefore, spatial planning of the Marisa Watershed needs to focus on controlling land conversion in floodplains and strengthening conservation functions in upstream area.

Keywords : Flood Vulnerability; Geospatial Approach; GIS; Marisa Watershed

Abstrak

Secara historis terjadinya banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Marisa memberikan dampak signifikan terhadap kawasan permukiman dan pertanian, namun kajian secara spasial untuk memetakan kerentanan banjir masih terbatas. Penelitian ini bertujuan memetakan dan mengidentifikasi tingkat kerentanan banjir di DAS Marisa. Sistem Informasi Geografis (SIG) sebagai pendekatan geospasial dengan metode skoring terhadap parameter utama dalam mengidentifikasi kerentanan banjir. Kebaruan penelitian terletak pada pemanfaatan data geologi dan jenis tanah, curah hujan dan topografi yang dipadukan dengan data penggunaan lahan di DAS Marisa untuk mengidentifikasi kerentanan banjir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi didominasi di lereng datar, dengan luas permukiman terdampak mencapai 773,36 Ha dan lahan sawah 2.150,80 Ha, terutama di Kelurahan Tunggulo dan Tenilo. Curah hujan ekstrem di wilayah hulu dan perubahan alih fungsi lahan menjadi salah satu pemicu banjir, sedangkan tanah Aluvial Hidromorf dan litologi Qpr di wilayah hilir memperparah genangan. Oleh karena itu, penataan ruang DAS Marisa perlu difokuskan pada pengendalian konversi lahan di dataran banjir serta penguatan fungsi konservasi di wilayah hulu.

Kata Kunci : Kerentanan Banjir; Pendekatan Geospasial, GIS; DAS Marisa

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang paling sering terjadi dan menimbulkan kerugian besar, baik dari segi ekonomi, sosial, maupun lingkungan. Menurut data *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters*, lebih dari 40% bencana alam global dalam dekade terakhir terkait dengan banjir, dengan korban jiwa mencapai ribuan dan kerusakan infrastruktur yang massif (CRED, 2024). Di Indonesia, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) (*Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI)*, 2023) mencatat bahwa banjir mendominasi lebih dari 30% total kejadian bencana tahunan, dan tren ini cenderung meningkat seiring perubahan iklim serta alih fungsi lahan di daerah aliran sungai (DAS) (Devi dkk., 2023). DAS Marisa, yang terletak di Provinsi Gorontalo, memiliki karakteristik topografi yang kompleks dan pola curah hujan yang tinggi. Namun, hingga saat

ini, kajian sistematis mengenai zona rawan banjir di DAS tersebut masih sangat terbatas, sehingga upaya mitigasi seringkali bersifat reaktif daripada preventif (Sabihi dkk., 2025).

Berbagai penelitian telah mengembangkan pemodelan kerawanan banjir menggunakan pendekatan parametrik maupun machine learning. Misalnya, studi oleh (Ardi dkk., 2024) dan (Pratama dkk., 2020) menekankan peranan kemiringan lereng dan jenis tanah dalam menentukan potensi limpasan permukaan. Sementara itu, penelitian dari (Juliana dkk., 2025) dan (Eryani dkk., 2024) menunjukkan bahwa faktor geologi serta intensitas curah hujan berkontribusi signifikan terhadap waktu konsentrasi dan volume banjir di DAS berskala sedang. Selain itu, penggunaan lahan juga diakui sebagai variabel kunci karena tutupan vegetasi dapat mereduksi koefisien aliran permukaan (Kusmajaya dkk., 2025; Olii dkk., 2021). Pendekatan geospasial dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan penginderaan jauh telah banyak digunakan untuk mengintegrasikan parameter-parameter tersebut dalam peta kerawanan banjir, seperti pada DAS Ciliwung dan DAS Brantas (Munajat Nursaputra, A. Muhammad Syahrul R., Syamsu Rijal, 2025; Priatna dkk., 2025; Rohmah dkk., 2025)

Namun, sebagian besar studi yang ada masih menerapkan parameter hidrologi dan geomorfologi secara parsial atau terpisah-pisah, tanpa melakukan integrasi yang utuh berdasarkan karakteristik lokal suatu DAS. Lebih jauh, hampir tidak ada penelitian yang secara spesifik mengidentifikasi kerentanan banjir di DAS Marisa dengan menerapkan parameter kunci-penggunaan lahan, kemiringan lereng, jenis tanah, geologi, dan intensitas curah hujan dalam satu kerangka geospasial yang terintegrasi. Padahal, DAS Marisa memiliki keunikan morfologi berupa perpaduan antara dataran aluvial dan perbukitan, serta distribusi curah hujan yang tidak merata sepanjang tahun, sehingga fragmentasi parameter dalam pemodelan dapat menghasilkan taksiran kerentanan yang kurang akurat.

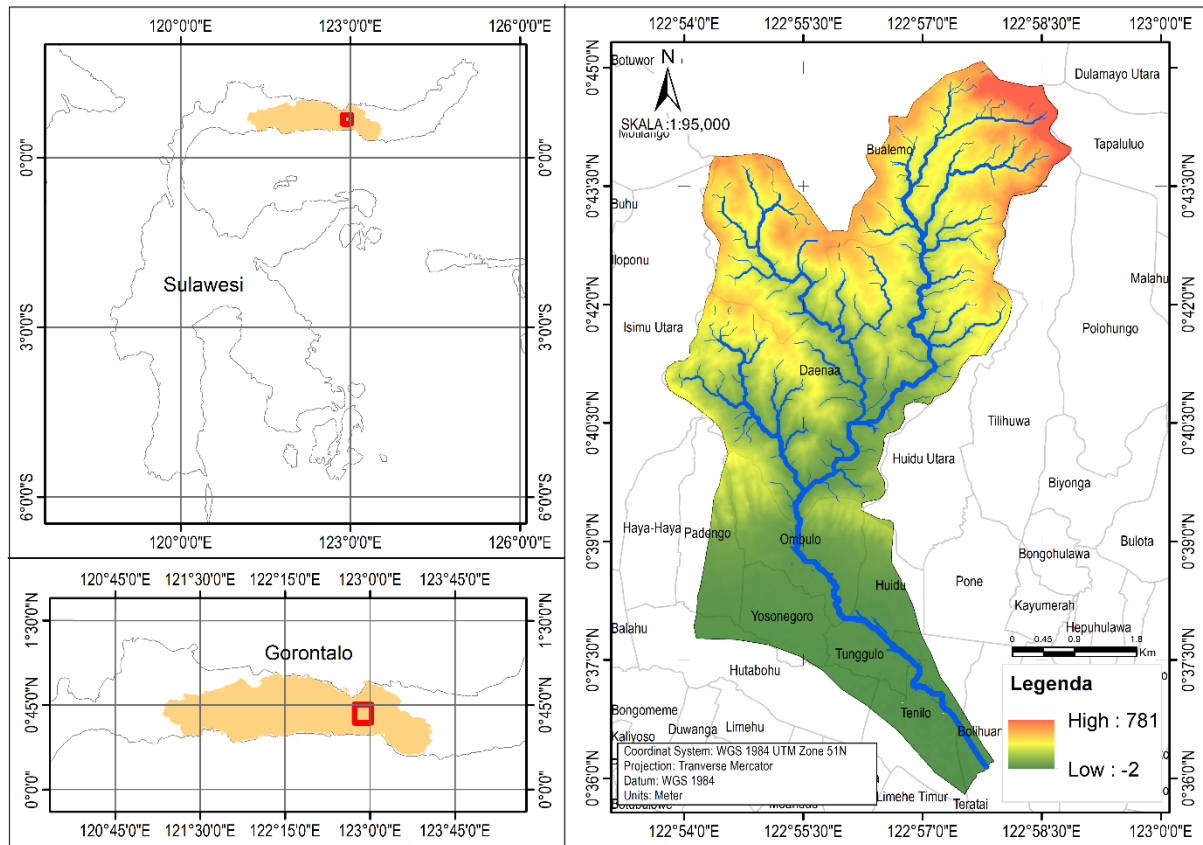
Kesenjangan pengetahuan (*research gap*) ini berdampak langsung pada ketiadaan peta kerentanan banjir yang komprehensif dan berbasis bukti lapangan untuk DAS Marisa. Akibatnya, pemerintah daerah dan masyarakat tidak memiliki panduan teknis yang memadai dalam perencanaan tata ruang, sistem peringatan dini, maupun relokasi permukiman. Jika kondisi ini terus terjadi, potensi kerugian akibat banjir di wilayah hilir DAS Marisa akan semakin besar setiap musim hujan, terutama seiring dengan meningkatnya konversi lahan hutan menjadi lahan pertanian dan pemukiman yang terjadi dalam sepuluh tahun terakhir.

Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan integrasi parameter secara spasial menggunakan lima variabel indikator banjir (penggunaan lahan, kemiringan lereng, jenis tanah, geologi, dan intensitas curah hujan) untuk menghasilkan pemetaan kerentanan banjir di DAS Marisa. Pendekatan geospasial berbasis SIG dan analisis overlay dengan skor dan pembobotan yang diturunkan dari karakteristik lokal diharapkan mampu memberikan akurasi yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional. Secara praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pengambilan keputusan dalam mitigasi bencana dan pengelolaan DAS secara berkelanjutan. Dengan demikian, tujuan dari penelitian ini mengidentifikasi dan memetakan kerentanan banjir di DAS Marisa melalui integrasi parameter hidrologi dan geomorfologi dengan pendekatan geospasial.

2. METODE

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di DAS Marisa yang secara administratif terletak di wilayah Kabupaten Gorontalo dan Kabupaten Gorontalo Utara, Provinsi Gorontalo. Yang memiliki luasan sebesar 60,79 Km² (Isa dkk., 2020). Daerah Aliran Sungai (DAS) Marisa secara geografis terletak pada koordinat antara 122°54'00"–122°58'30" Bujur Timur dan 0°36'30"–0°45'00" Lintang Utara, dengan sistem proyeksi UTM Zona 51S, datum WGS 1984. Analisis data dilakukan di Kampus Universitas Muhammadiyah Gorontalo. Studi menggunakan metode analisis spasial berbasis SIG menggunakan teknik overlay dan skoring pembobotan parameter. Lokasi penelitian ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian DAS Marisa

2.3 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis spasial berbasis SIG dengan pendekatan weighted overlay. Kelima parameter-penggunaan lahan, kemiringan lereng, jenis tanah, geologi, dan intensitas curah hujan-dilakukan klasifikasi dan pemberian skor (1–5) berdasarkan tingkat kerawanan banjir (Khoso dkk., 2025). Selanjutnya, setiap parameter diberikan bobot yang ditentukan berdasarkan penilaian tiga pakar (ahli hidrologi, geomorfologi, dan kebencanaan). Rumus yang digunakan adalah:

$$\text{Nilai Kerentanan} = (W1 \times PL) + (W2 \times KL) + (W3 \times JT) + (W4 \times GL) + (W5 \times ICH) \quad (1)$$

Keterangan:

RF: Rawan banjir

PL: Penggunaan Lahan

GL: Geologi

KL: Kemiringan Lereng

ICH: Intensitas Curah Hujan

JT: Jenis tanah

W1-W5: Bobot Masing-Masing Parameter

Hasil overlay kemudian diklasifikasikan menjadi kerentanan rendah, sedang, dan tinggi menggunakan metode *natural breaks* (Kampar dkk., 2026). Selanjutnya, dilakukan analisis statistik deskriptif untuk menghitung luas dan persentase setiap kerentanan terhadap total luas DAS Marisa (Table 1).

Table 1. Variable Kerentanan Banjir

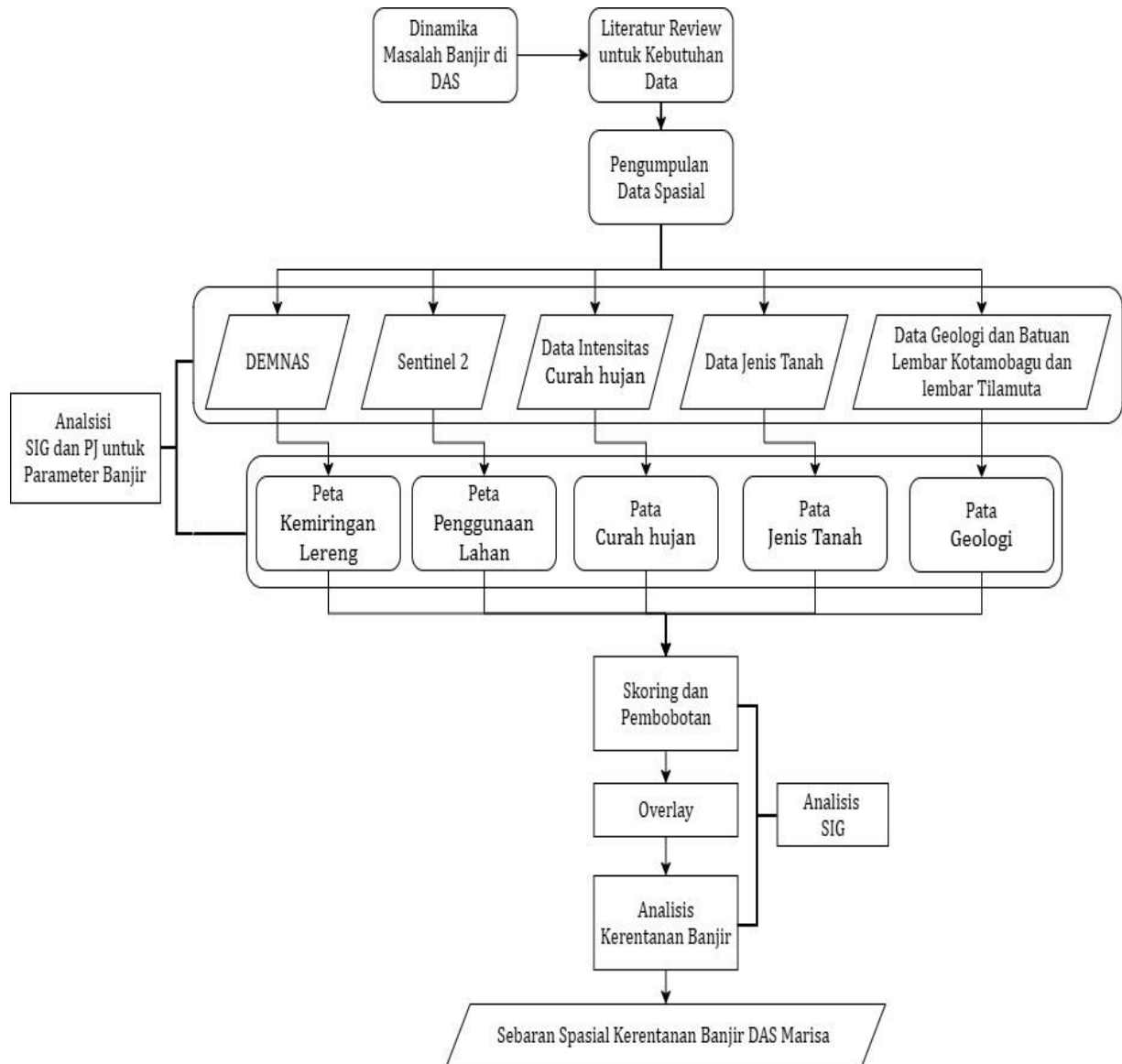
No.	Variabel Indikator Banjir	Kelas Indikator Banjir	Skor	Bobot
1	Intensitas Hujan	Curah 2000 mm	8	30
		1501 – 2000 mm	6	
		1001 – 1500 mm	4	
2	Jenis Tanah	Brown Forest Soil, Aluvial, Aluvial Hidromorf	10	30
		Mediteran Merah Kuning, Mediteran Merah Kuning	6	
		Podsolik Merah Kuning, Podsolik Merah Kuning	4	
		Grumusol, Mediteran Merah Kuning	4	
		Rendzina, Mediteran Merah Kuning	2	
3	Kemiringan Lereng	0 – 8	10	20
		8 – 15	8	
		15 – 25	6	
		25 – 45	4	
		45	2	
4	Geologi	Endapan Sungai Tua (Qpr)	10	10
		Batuan Gampang Api Bilungala (Tmbv)	6	
		Bantugamping Kalstika (TQI)	4	
		Diorit Bone (Tmb)	2	
5	Penggunaan Lahan	Pemukiman	10	10
		Sawah	8	
		Perkebunan	6	
		Lahan Terbuka	4	
		Daerah Bervegetasi	2	

Sumber : (Eryani dkk., 2024; Juliana dkk., 2025; Munajat Nursaputra, A. Muhammad Syahrul R., Syamsu Rijal, 2025; Pratama dkk., 2020)

Penentuan bobot tinggi pada variabel Intensitas Curah Hujan (30%) didasarkan pada perannya sebagai faktor pemicu utama (*triggering factor*) dalam fenomena banjir; semakin tinggi volume air yang jatuh ke permukaan bumi dalam waktu singkat, semakin cepat kapasitas infiltrasi tanah terlampaui sehingga menciptakan limpasan permukaan (*surface runoff*) yang besar (Setiawan, 2021; Sulistyowati Rahayu dkk., 2025). Hal ini diperkuat oleh variabel Jenis Tanah (30%) yang memiliki bobot setara, karena karakteristik fisik tanah menentukan kemampuan adsorpsi air (Indah Rosita Dewi, Nor Hidayati, Khotibul Umam, Nasyiin Faqih, Fatchur Roehman, Arif Hidayat, 2025; Mahmoodi dkk., 2023). Tanah dengan tekstur halus seperti Aluvial Hidromorf memiliki pori-pori yang mudah jenuh, sehingga menghambat air masuk ke dalam tanah dan mempercepat akumulasi genangan di permukaan (Indah Rosita Dewi, Nor Hidayati, Khotibul Umam, Nasyiin Faqih, Fatchur Roehman, Arif Hidayat, 2025; Rezaei Moghaddam & Rahimpour, 2025).

Selanjutnya, variabel Kemiringan Lereng (20%) menempati posisi penting dalam mengontrol kecepatan aliran; wilayah dengan kemiringan sangat landai (0–8%) diberikan skor tertinggi karena secara topografis merupakan daerah akumulasi di mana energi aliran melambat, yang memicu air berhenti dan menggenang lebih lama dibandingkan daerah curam (Komal Vashist, 2024; Rahmadhani dkk., 2024). Di sisi lain, variabel Geologi (10%) dan Penggunaan Lahan (10%) berfungsi sebagai faktor penguat kondisi kerentanan. Struktur geologi seperti endapan sungai tua mencerminkan wilayah yang secara historis merupakan daerah tangkapan air, sementara perubahan lahan menjadi pemukiman menciptakan lapisan kedap air (*impermeable surface*) yang secara drastis menghilangkan ruang resapan alami (Kampar dkk., 2026). Secara keseluruhan, kombinasi bobot ini merefleksikan bahwa banjir bukan hanya disebabkan oleh faktor meteorologis tunggal, melainkan hasil interaksi kompleks antara besarnya

input air dan ketidakmampuan bentang alam dalam menyerap serta mengalirkan air tersebut secara efektif.

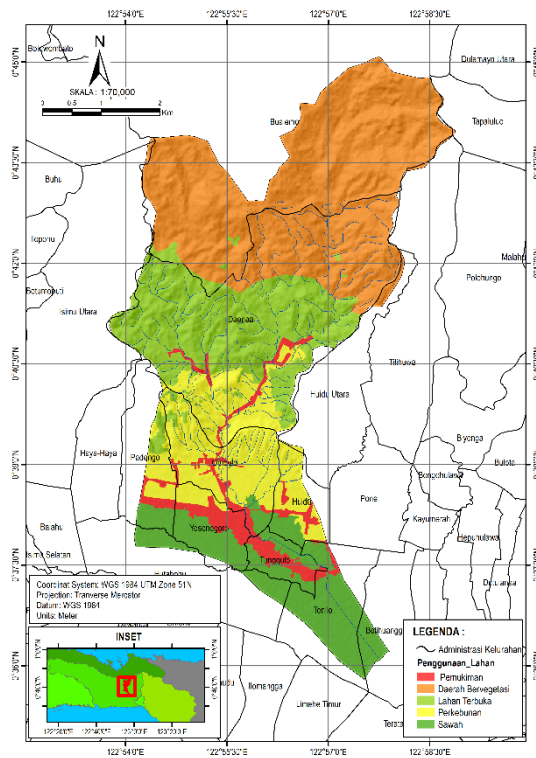


Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

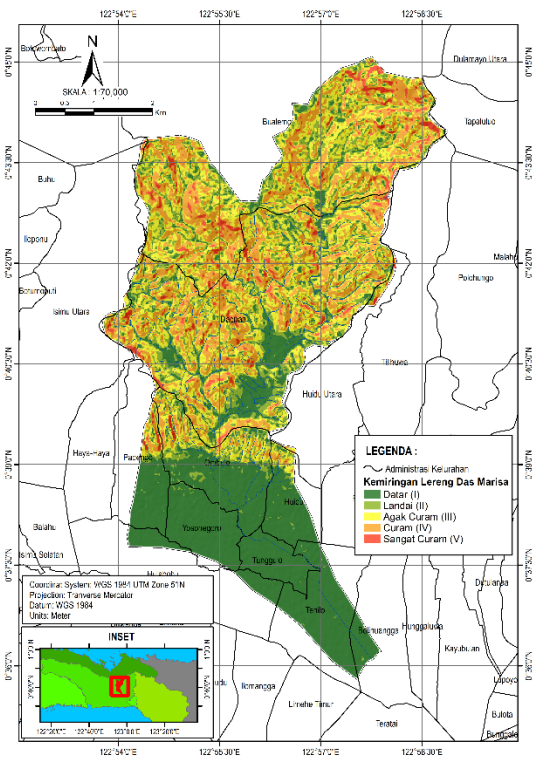
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemetaan Parameter Indeks Kerentanan Banjir

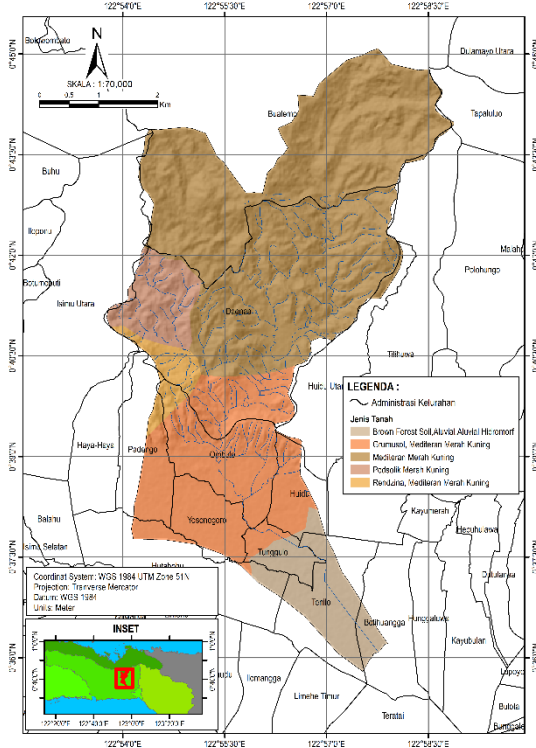
Hasil penelitian diperoleh dari pemetaan setiap parameter, yaitu Penggunaan Lahan, Kemiringan Lereng, Jenis Tanah, Geologi, Intensitas Curah Hujan. Pemetaan ini bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang parameter yang merupakan salah satu faktor indeks kerentanan banjir. Beberapa hasil pemetaan setiap parameter disajikan pada Gambar 3.



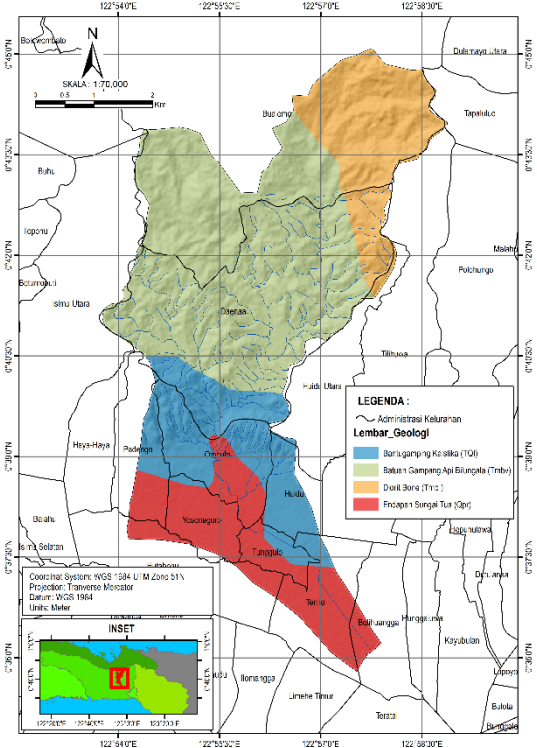
(a)



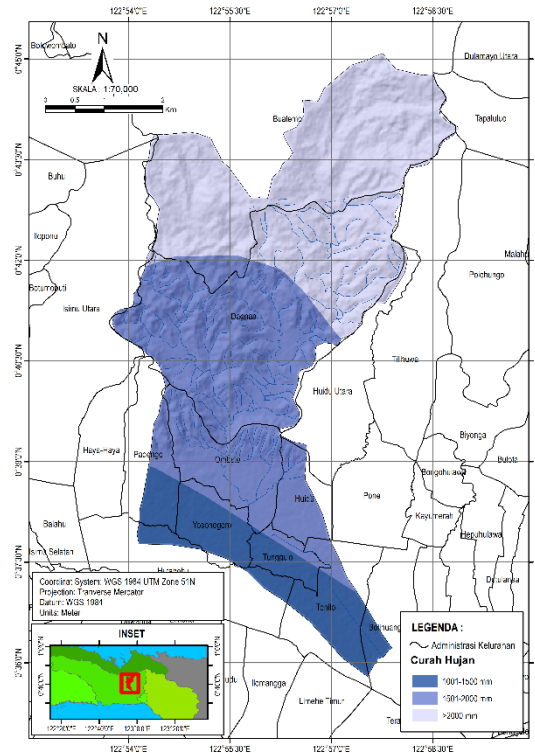
(b)



(c)



(d)



(e)

Bambar 3. Peta Parameter Kerentanan banjir; a) Peta Penggunaan Lahan, b) Peta Kemiringan Lereng, c) Peta Jenis Tanah, d) Peta Geologi, e) Peta Intensitas Curah Hujan

a. Penggunaan Lahan

Hasil klasifikasi penggunaan lahan di DAS Marisa dapat dilihat pada Gambar 3 bagian (a) menunjukkan variasi spasial yang signifikan, yang secara langsung memengaruhi karakteristik hidrologi wilayah tersebut. Berdasarkan peta penggunaan lahan, area bagian utara didominasi oleh daerah bervegetasi luas, sementara bagian tengah didominasi oleh lahan terbuka dan perkebunan. Fenomena yang paling krusial ditemukan pada bagian selatan dan sepanjang aliran sungai utama, di mana terdapat konversi lahan menjadi pemukiman yang cukup masif (ditandai dengan warna merah). Secara spasial, pemukiman tumbuh linear mengikuti alur sungai dan jalan utama, yang meningkatkan risiko kerentanan masyarakat terhadap luapan air sungai. Sawah dan lahan terbuka juga tersebar di bagian hilir, mencerminkan zona deposisi material sedimen yang subur namun rentan tergenang.

Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Kampar dkk., 2026), yang menyatakan bahwa penggunaan lahan berupa pemukiman di wilayah dataran banjir memiliki koefisien limpasan (*runoff*) yang sangat tinggi mendekati angka 1, sehingga hampir seluruh curah hujan yang jatuh akan langsung menjadi air permukaan tanpa proses infiltrasi yang memadai. Hal ini juga didukung oleh teori dari (Dharmayasa dkk., 2022) bahwa hilangnya vegetasi hutan menjadi lahan terbuka dan area terbangun secara drastis menurunkan kapasitas retensi air di bagian hulu dan tengah DAS. Namun, terdapat anomali atau ketidaksesuaian jika dibandingkan dengan temuan (Arianna Orsetti, 2025), yang berpendapat bahwa vegetasi lebat selalu mampu memitigasi banjir secara total. Pada kasus DAS Marisa, meskipun bagian hulu masih memiliki daerah bervegetasi, besarnya intensitas curah hujan dan kemiringan lereng yang curam di hulu dapat mengakibatkan *flash flood* (banjir bandang) di area hilir yang landai. Oleh karena itu, faktor penggunaan lahan di wilayah ini tidak berdiri sendiri, melainkan berintegrasi dengan parameter topografi untuk menentukan titik jenuh air yang memicu kerentanan banjir di Kelurahan Yosonegoro dan sekitarnya.

b. Kemiringan Lereng

Karakteristik morfometri DAS Marisa menunjukkan variasi kemiringan lereng yang kontras antara wilayah hulu dan hilir, yang menjadi parameter kunci dalam mengidentifikasi kerentanan banjir.

Berdasarkan hasil klasifikasi, wilayah bagian utara hingga tengah didominasi oleh kelas lereng Agak Curam hingga Sangat Curam (warna kuning hingga merah). Kondisi ini menyebabkan waktu konsentrasi air (*time of concentration*) menjadi sangat singkat, di mana air hujan akan mengalir dengan kecepatan tinggi menuju lembah. Sebaliknya, wilayah selatan yang mencakup Kelurahan Yosonegoro, Tunggulo, dan Tenilo didominasi oleh kelas lereng datar (0–8%) pada Gambar 3 bagian (b) yang ditandai dengan warna hijau tua pekat. Secara geomorfologis, wilayah datar ini berfungsi sebagai zona akumulasi massa air dan sedimen, yang dikombinasikan dengan elevasi rendah, menjadikannya titik paling rentan terhadap banjir genangan.

Temuan ini sangat relevan dengan hasil penelitian (Arianna Orsetti, 2025) yang menegaskan bahwa kemiringan lereng di bawah 8% memiliki korelasi positif yang paling kuat terhadap akumulasi genangan. Karena rendahnya tenaga gerak air untuk mengalirkan air kembali ke badan sungai dengan cepat, hal ini terjadi karena gabungan antara lereng curam di hulu dan lereng datar di hilir yang menimbulkan efek penyempitan aliran sehingga membuat luapan sungai lebih cepat., sebagaimana dikemukakan oleh (Yang dkk., 2024) dalam studi hidrologi DAS.

c. Jenis Tanah

Distribusi jenis tanah di DAS Marisa memberikan gambaran signifikan mengenai kapasitas infiltrasi dan potensi limpasan permukaan di wilayah tersebut. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa wilayah hulu hingga tengah didominasi oleh asosiasi tanah *Brown Forest Soil* dan Aluvial Hidromorf. Secara hidrologis, keberadaan tanah aluvial hidromorf di zona transisi dan hilir (seperti di sekitar Kelurahan Daenaa hingga sebagian Yosonegoro) menjadi indikator kerawanan banjir yang tinggi karena sifat tanah ini yang cenderung memiliki drainase buruk dan mudah jenuh air. Sementara itu, wilayah selatan hingga tenggara didominasi oleh kompleks grumusol dan mediteran merah kuning seperti pada Gambar 3 bagian (c) yang memiliki tekstur liat tinggi, yang secara mekanis membatasi laju perkolasi air ke dalam tanah dan mempercepat terbentuknya debit puncak sungai saat curah hujan ekstrem terjadi.

Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Djukem Fenguia & Nkouathio, 2023), yang mengonfirmasi bahwa jenis tanah dengan tekstur halus seperti Aluvial dan Grumusol memiliki nilai koefisien infiltrasi yang rendah, sehingga kontribusinya terhadap banjir genangan di daerah aliran sungai sangat dominan. Hal ini juga diperkuat oleh argumen (Lupián-Machuca dkk., 2024) bahwa karakteristik tanah yang didominasi oleh material halus di dataran banjir akan memperpanjang durasi genangan karena rendahnya konduktivitas hidrolis saturasi.

Namun, jika dibandingkan dengan studi dari (Lupián-Machuca dkk., 2024), terdapat temuan yang tidak sepenuhnya sesuai; mereka berpendapat bahwa tutupan vegetasi yang baik (seperti yang terlihat pada peta penggunaan lahan DAS Marisa sebelumnya) dapat mengompensasi buruknya laju infiltrasi pada jenis tanah liat. Pada kasus DAS Marisa, faktanya banjir tetap terjadi secara periodik di wilayah hilir. Hal ini menunjukkan bahwa di DAS Marisa, faktor jenis tanah yang bersifat impermeabel di area dataran (seperti Grumusol di wilayah Tunggulo dan sekitarnya) memberikan pengaruh yang lebih kuat dibandingkan peran proteksi vegetasi, terutama ketika tanah telah mencapai titik jenuh akibat durasi hujan yang panjang.

d. Karakteristik Geologi

Kondisi geologi di DAS Marisa memberikan kontribusi mendasar terhadap pemahaman karakteristik material penyusun litologi yang memengaruhi kerentanan banjir secara spasial. Berdasarkan hasil pemetaan pada Gambar 3 bagian (d), wilayah hulu didominasi oleh formasi Diorit Bone (Tmb) dan Batuan Gunung Api Bilungala (Tmbv) yang memiliki sifat batuan lebih masif dan kompak. Namun, temuan krusial terletak pada bagian hilir DAS, di mana terdapat satuan Endapan Sungai Tua (Qpr) (warna merah) yang menempati wilayah Kelurahan Yosonegoro, Tunggulo, hingga Tenilo, serta satuan Batugamping Klastika (TQl) di sisi timur dan barat. Keberadaan Endapan Sungai Tua yang bersifat tidak terkonsolidasi (*unconsolidated*) menandakan bahwa wilayah pemukiman saat ini secara historis merupakan daerah limpas banjir aktif yang terdiri dari material aluvial, kerakal, dan pasir yang memiliki porositas tinggi namun berada pada elevasi rendah, sehingga sangat rentan terhadap penggenangan akibat luapan sungai.

Temuan mengenai kerentanan pada satuan endapan kuarter ini sejalan dengan penelitian (Lemon & Keim, 2025) yang menyatakan bahwa formasi geologi muda (aluvium dan endapan sungai) merupakan zona paling berisiko karena posisinya yang secara geomorfologis berada pada dataran banjir dan memiliki daya dukung infiltrasi yang cepat jenuh saat muka air tanah naik. Selain itu, keberadaan Batugamping Klastika juga memperkuat potensi banjir kiriman melalui mekanisme drainase bawah tanah yang kompleks, sebagaimana dibahas oleh dalam studi hidrologi karst.

Namun, terdapat ketidaksesuaian dengan asumsi umum dari teori (Grain, 2023) yang sering kali menganggap litologi batuan beku masif (seperti Diorit Bone di hulu) sebagai area aman karena sifatnya yang impermeabel. Dalam kasus DAS Marisa, batuan beku di hulu yang memiliki kemiringan lereng curam justru menjadi pemicu tingginya laju aliran permukaan (*surface runoff*) yang kemudian terakumulasi di wilayah Endapan Sungai Tua di hilir. Dengan demikian, unit geologi di hulu tidak bisa dianggap sebagai faktor "aman", melainkan faktor "pengirim" debit air puncak yang memperparah durasi banjir di wilayah dataran rendah.

e. *Intensitas Curah Hujan*

Dapat dilihat pada gambar 3 bagian (e) variabilitas curah hujan di DAS Marisa menunjukkan gradasi spasial yang signifikan, di mana intensitas hujan meningkat seiring dengan bertambahnya elevasi ke arah hulu (utara). Berdasarkan hasil klasifikasi, wilayah hulu didominasi oleh kelas curah hujan tertinggi yaitu >2000 mm/tahun (warna biru muda), sementara wilayah tengah berada pada rentang 1501 – 2000 mm/tahun, dan wilayah hilir (selatan) memiliki intensitas antara 1001 – 1500 mm/tahun (warna biru tua). Meskipun secara angka kumulatif wilayah hilir memiliki curah hujan yang lebih rendah, tingginya input air dari wilayah hulu yang memiliki intensitas ekstrem (>2000 mm) menciptakan akumulasi debit aliran yang besar. Kondisi ini menempatkan wilayah hilir seperti Kelurahan Yosonegoro dan Tunggulo pada risiko banjir kiriman yang tinggi karena menerima beban hidrologi dari seluruh luasan tangkapan air di bagian utara.

Temuan ini sejalan dengan penelitian (Zain dkk., 2021) dan diperkuat oleh studi terbaru dari (Zhang dkk., 2022) yang menyatakan bahwa curah hujan di wilayah hulu merupakan pemicu utama (triggering factor) banjir bandang di wilayah bawahnya, di mana intensitas hujan yang melebihi ambang batas infiltrasi akan segera berubah menjadi debit puncak sungai. Fenomena ini juga didukung oleh teori (Breinl dkk., 2021) mengenai hubungan antara curah hujan orografis di dataran tinggi dengan magnitudo banjir di dataran rendah.

Namun, jika membandingkan dengan temuan (Try dkk., 2022), terdapat sudut pandang yang berbeda di mana ia menyatakan bahwa banjir sering kali terjadi karena intensitas hujan lokal yang ekstrem di area hilir itu sendiri akibat perubahan iklim, bukan hanya kiriman dari hulu. Dalam konteks DAS Marisa, temuan tersebut tidak sepenuhnya mendominasi, karena pola spasial menunjukkan bahwa meskipun hujan lokal di hilir berada pada kelas terendah (1001-1500 mm), banjir tetap terjadi secara periodik. Hal ini membuktikan bahwa faktor utama bencana banjir di lokasi studi lebih dipengaruhi oleh upstream rainfall contribution (kontribusi hujan hulu) yang masuk ke dalam sistem sungai Marisa daripada sekadar hujan lokal di wilayah pemukiman.

3.2 Kerentanan Banjir DAS Marisa

Kategori kerawanan banjir di DAS Marisa dapat diperhatikan pada Tabel 2 dan Gambar 4, pada kategori tinggi, Desa Tunggulo memiliki luas terbesar yaitu 743,50 ha. Kondisi ini menunjukkan bahwa sebagian wilayah Desa Tunggulo memiliki tingkat kerawanan yang cukup tinggi dibanding desa lainnya. Selanjutnya, Desa Tenilo memiliki luas kategori tinggi sebesar 659,19 ha, Desa Bolihuangga sebesar 478,08 ha, dan Desa Hutabohu sebesar 476,36 ha. Desa lainnya yang termasuk dalam kategori tinggi yaitu Ombulo seluas 229,51 ha, Daenaa seluas 163,70 ha, Huidu seluas 115,44 ha, Yosonegoro seluas 114,75 ha, dan Bualemo seluas 16,87 ha. Secara keseluruhan, distribusi luasan pada masing-masing kategori menunjukkan adanya variasi tingkat kerawanan di setiap desa di DAS Marisa. Desa Daenaa, Bualemo, dan Ombulo cenderung didominasi oleh kategori rendah hingga sedang, sedangkan Desa Tunggulo, Tenilo, Bolihuangga, dan Hutabohu memiliki dominasi kategori tinggi yang lebih besar dibanding desa lainnya. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa karakteristik wilayah, seperti topografi, penggunaan lahan, dan kondisi hidrologi, memengaruhi tingkat kerawanan pada masing-masing desa di DAS Marisa.

Tabel 2. Sebaran tingkat kerentanan banjir di DAS Marisa berdasarkan Desa/Kelurahan

No	Desa di DAS Marisa	Rendah	Sedang	Tinggi
1	Bolihuangga			478.08
2	Bualemo	2384.58	1695.37	16.87
3	Daenaa	4201.79	2862.88	163.70
4	Huidu	903.74	1028.26	115.44
5	Hutabohu		316.81	476.36
6	Ombulo	1893.42	2614.56	229.51
7	Padengo	691.93	911.28	
8	Tenilo			659.19
9	Tunggulo	6.79	821.01	743.50
10	Yosonegoro	312.66	1386.92	114.75
	Total	10082.23	10250.16	2882.65

Jika dianalisis berdasarkan hubungan antara kemiringan lereng dan tingkat kerentanan banjir di DAS Marisa di lihat pada Gambar 4. peta kerentanan banjir DAS Marisa menunjukkan sebaran luasan yang bervariasi di setiap desa/kelurahan. Berdasarkan data hasil *overlay*, wilayah dengan Kerentanan Tinggi didominasi oleh Kelas Lereng I (datar), dengan total luasan mencapai 2.991,57 Ha. Secara administratif, desa yang memiliki zona kerentanan tinggi paling luas pada kelereng datar adalah Tunggulo (741,69 Ha) dan Tenilo (656,89 Ha), diikuti oleh Hutabohu dan Bolihuangga yang masing-masing mencapai 476,36 Ha. Sementara itu, wilayah dengan Kerentanan Sedang mendominasi sebagian besar DAS Marisa dengan total luasan 11.637,08 Ha, di mana Desa Ombulo memiliki area kerentanan sedang terluas mencapai 2.614,56 Ha pada kelas lereng I. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun suatu wilayah berada pada topografi datar, tingkat kerentanannya dipengaruhi secara akumulatif oleh parameter hidrologi lainnya

Temuan ini sejalan dengan studi (Nizamuddin dkk., 2019) yang menyatakan bahwa wilayah datar dengan kemiringan lereng rendah (Kelas I) merupakan zona akumulasi air utama yang memiliki risiko genangan paling persisten dibandingkan wilayah berlereng. Pemanfaatan lahan di Desa Tunggulo dan Tenilo yang berada pada zona datar ini memperparah risiko dampak kerugian bencana, sebagaimana dikemukakan oleh Sammen dkk. (2020) bahwa kemiringan lereng adalah faktor fisik paling berpengaruh dalam menentukan arah dan kecepatan aliran permukaan ke titik terendah DAS (Nacar dkk., 2020)

Namun, data ini menunjukkan ketidaksesuaian dengan generalisasi dari (Abuzied & Mansour, 2019) yang cenderung memprioritaskan lereng curam sebagai zona bahaya utama karena potensi banjir bandang. Pada tabel di atas, terlihat bahwa wilayah dengan lereng curam (Kelas IV dan V), seperti di Desa Daenaa (total 2.219,07 Ha), justru masuk ke dalam kategori Kerentanan Rendah. Hal ini membuktikan bahwa dalam konteks DAS Marisa, kerentanan banjir tidak korelasi lurus dengan besarnya kemiringan lereng; lereng yang curam di hulu memang berbahaya bagi erosi, namun titik kritis bencana banjir genangan secara faktual terkonsentrasi di dataran rendah di wilayah hilir.

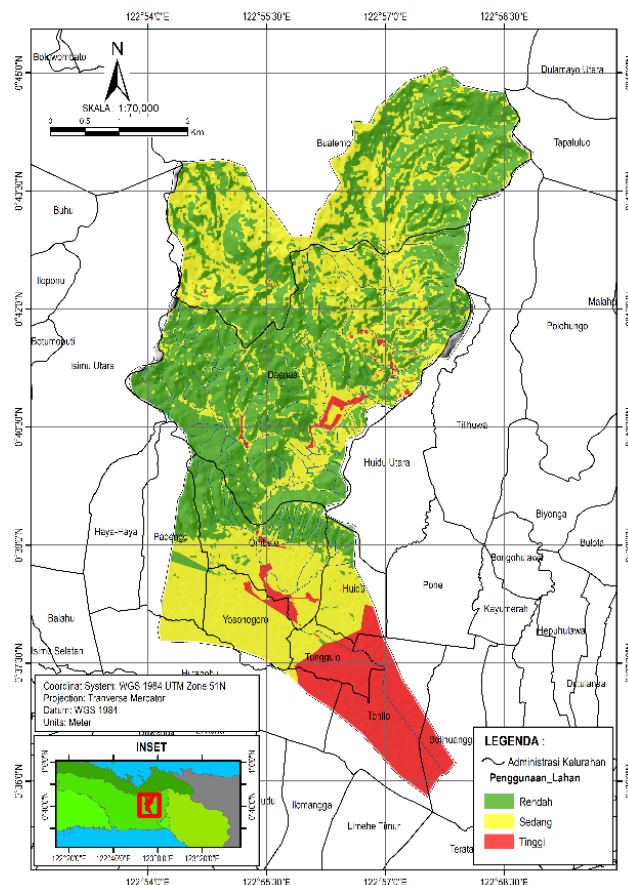
Penggunaan Lahan Berdasarka Desa

Analisis spasial mengenai hubungan antara penggunaan lahan (PL) dan tingkat kerentanan banjir di DAS Marisa menunjukkan bahwa konversi lahan menjadi area terbangun dan lahan pertanian basah berkontribusi signifikan terhadap perluasan zona rawan bencana. Berdasarkan data hasil klasifikasi, wilayah dengan Kerentanan Tinggi didominasi oleh penggunaan lahan berupa Sawah (SWH) dengan total luasan mencapai 2.150,80 Ha, serta Pemukiman (PEM) seluas 773,36 Ha. Secara administratif, Kelurahan Tenilo dan Kelurahan Tunggulo menjadi wilayah yang paling kritis, di mana penggunaan lahan sawah masing-masing mencakup 566,23 Ha dan 556,55 Ha di zona kerentanan tinggi. Selain itu, Kelurahan Daenaa memiliki area pemukiman seluas 146,83 Ha yang berada pada tingkat

kerentanan tinggi. Fenomena ini menunjukkan bahwa aset fisik dan ekonomi masyarakat terkonsentrasi pada wilayah yang secara geomorfologis rentan terhadap genangan air.

Temuan ini sangat relevan dengan penelitian (Mustafa & Szydlowski, 2020) yang menegaskan bahwa perubahan lahan dari vegetasi alami menjadi pemukiman dan area pertanian intensif akan meningkatkan koefisien limpasan (*runoff*) secara drastis, sehingga mempercepat waktu pencapaian debit puncak banjir. Hal ini juga didukung oleh argumen (Mustafa & Szydlowski, 2020) bahwa area pemukiman menciptakan lapisan kedap air (*impermeable surface*) yang menghilangkan kapasitas retensi air tanah, yang secara langsung meningkatkan volume air permukaan di desa-desa seperti Ombulo dan Tunggulo.

Namun, jika dibandingkan dengan hasil studi (Antolini dkk., 2020), terdapat temuan yang tidak sepenuhnya selaras; mereka berpendapat bahwa keberadaan daerah bervegetasi luas di bagian hulu dapat secara signifikan mereduksi risiko banjir di hilir. Pada kasus DAS Marisa, meskipun Desa Bualemo dan Daenaa masih memiliki Daerah Bervegetasi (DB) yang sangat luas (total gabungan lebih dari 6.000 Ha), wilayah hilir tetap mengalami kerentanan tinggi. Hal ini membuktikan bahwa besarnya luasan vegetasi di hulu tidak mampu mengompensasi risiko banjir di hilir jika penggunaan lahan di zona datar didominasi oleh sawah dan pemukiman yang memiliki karakteristik drainase buruk. Dengan demikian, integrasi parameter penggunaan lahan mengonfirmasi bahwa kerentanan di DAS Marisa dipicu oleh konsentrasi aktivitas manusia pada zona deposisi air.



Gambar 4. Peta Kerentanan Banjir DAS Marisa

4. KESIMPULAN

Kerentanan banjir di wilayah ini dipicu oleh akumulasi curah hujan tinggi dari hulu yang mengalir ke hilir dengan topografi datar (0–8%), didukung oleh jenis tanah aluvial hidromorf dan grumusol yang memiliki infiltrasi rendah. Secara geologis, wilayah pemukiman di Kelurahan Tunggulo, Tenilo, dan Yosonegoro berada di atas satuan Endapan Sungai Tua (Qpr) yang secara historis merupakan dataran banjir aktif, sehingga konversi lahan menjadi sawah seluas 2.150,80 Ha dan pemukiman seluas 773,36 Ha di zona ini menciptakan risiko bencana yang sangat tinggi. Meskipun

wilayah hulu memiliki tutupan vegetasi yang luas, hal tersebut tidak mampu mereduksi banjir secara total akibat kontrasnya kemiringan lereng dan dominasi penggunaan lahan kedap air di dataran rendah, sehingga diperlukan strategi manajemen DAS yang terintegrasi dan penataan ruang berbasis mitigasi untuk meminimalisir potensi kerugian di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abuzied, S. M., & Mansour, B. M. H. (2019). Geospatial hazard modeling for the delineation of flash flood-prone zones in Wadi Dahab basin, Egypt. *Journal of Hydroinformatics*, 21, 180–206. <https://doi.org/10.2166/hydro.2018.043>
- Antolini, F., Tate, E., Dalzell, B., Young, N., Johnson, K., & Hawthorne, P. L. (2020). Flood Risk Reduction from Agricultural Best Management Practices. *Journal of the American Water Resources Association*, 56(1), 161–179. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12812>
- Ardi, I. A., Widiastuti, N. R., Hidayati, S. R., & Niken, M. (2024). *Indikasi Wilayah Pengembangan (WP) sebagai Pendekatan Perencanaan dan Pengembangan Wilayah di Kabupaten Kebumen. 2024(November)*, 299–306.
- Arianna Orsetti. (2025). *Studio Dell'infiltrazione Mediante Confronto Tra Modello Hydrus-1d E Dati Idrologici Misurati*.
- Breinl, K., Lun, D., Müller-Thomy, H., & Blöschl, G. (2021). Understanding the relationship between rainfall and flood probabilities through combined intensity-duration-frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 602(July). <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126759>
- CRED. (2024). 2023 Disasters in numbers: A significant year of disaster impact. *Nature Medicine*, 29(7), 1857–1866.
- Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI)*. (2023). <https://dibi.bnpb.go.id/>
- Devi, M., Sutarto, & Ismunandar, H. (2023). Mitigasi Bencana Untuk Penyandang Disabilitas. *Medula*, 13(7), 1267–1271.
- Dharmayasa, I. G. N. P., Surakit, K., Jindal, R., & Thongdara, R. (2022). Investigation on Impact of Changes in Land Cover Patterns on Surface Runoff in Ayung Watershed, Bali, Indonesia Using Geographic Information System. *Environment and Natural Resources Journal*, 20(2), 168–178. <https://doi.org/10.32526/enrj/20/202100161>
- Djukem Fenguia, S. N., & Nkouathio, D. G. (2023). Contribution of soil physical properties in the assessment of flood risks in tropical areas: case of the Mbo plain (Cameroon). *Natural Hazards*, 116(3), 3447–3463. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-05818-0>
- Eryani, I. G. A. P., Jayantari, M. W., & Ramli, S. (2024). Determination of flood vulnerability level based on different numbers of indicators using AHP-GIS. *Sinergi (Indonesia)*, 28(1), 13–22. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2024.1.002>
- Grain, S. (2023). *Paleoflood Reconstruction in the Lower Yellow River*. <https://doi.org/10.3390/w15244268>
- Indah Rosita Dewi, Nor Hidayati, Khotibul Umam, Nasyiin Faqih, Fatchur Roehman, Arif Hidayat, A. S. (2025). *Implementasi Hec-Ras Dalam Penanggulangan Bencana Hidrometeorologi Spesifikasi Banjir Di Wilayah Kecamatan Juwana Kabupaten Pati. 5(2)*, 301–318. <https://doi.org/10.34001/jces>
- Isa, M., Sumarauw, J. S. F., & Hendratta, L. A. (2020). Analisis Debit Banjir Dan Tinggi Muka Air Sungai Marisa Kecamatan Limboto Barat Kabupaten Gorontalo. *Jurnal Sipil Statik*, 8(4), 591–600.
- Juliana, A., Thoha, A., & Lubis, S. (2025). Analisis Sebaran Spasial Kerentanan Bencana Banjir di Kota Medan Tahun 2023. *Jurnal Serambi Engineering*, X(1), 12486–12496.
- Kampar, D. I. K., Berdasarkan, P. R., Informasi, S., & Sig, G. (2026). *Analisis Spasial Tingkat Kerentanan. 5(1)*, 69–85. <https://doi.org/10.18860/dsjpips.v5i1.24940>
- Khoso, W. A., Waseem, M., Tanoli, M. A., & Baig, F. (2025). Flood risk susceptibility analysis in Larkana district Pakistan using multi criteria decision analysis and geospatial techniques. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-96107-2>
- Komal Vashist, K. K. S. (2024). Pemetaan bahaya banjir menggunakan pendekatan AHP berbasis GIS untuk cekungan Sungai Krishna. *Proses Hidrologi*, 38(6). <https://doi.org/10.1002/hyp.15212>
- Kusmajaya, F., Limantara, L. M., Yuliani, E., & Soetopo, W. (2025). Optimization of Flood Control in

- the Lake by Gate Opening Simultaneously. *Journal of Human, Earth, and Future*, 6(1), 150–165. <https://doi.org/10.28991/HEF-2025-06-01-010>
- Lemon, M. G., & Keim, R. F. (2025). Hydrological Controls and Sources of Water for Shallow Groundwater of Underfit, Fine-Grained Floodplains. *Hydrological Processes*, 39(2), 1–21. <https://doi.org/10.1002/hyp.70094>
- Lupián-Machuca, M. R., Cruz-Cárdenas, G., Flores-Magallón, R., Silva-García, J. T., Ochoa-Estrada, S., & Martínez-Trinidad, S. (2024). Prediction of Water Infiltration of Three Types of Soil with Machine Learning in the Sahuayo River Basin. *Applied and Environmental Soil Science*, 2024. <https://doi.org/10.1155/2024/5555105>
- Mahmoodi, E., Azari, M., Azari, M., M., & Dastorani, M. T. (2023). Comparison of different objective weighting methods in a multi-criteria model for watershed prioritization for flood risk assessment using morphometric analysis. *Journal of Flood Risk Management*, 16(2). <https://doi.org/10.1111/jfr3.12894>
- Munajat Nursaputra, A. Muhammad Syahrul R., Syamsu Rijal, M. F. (2025). *Pemodelan Hidrologi Berbasis Spasial Untuk Identifikasi Dan Analisis Daerah Rawan Banjir Di Das Lamasi*. 8(November), 32–44.
- Mustafa, A., & Szydlowski, M. (2020). The impact of spatiotemporal changes in land development (1984–2019) on the increase in the runoff coefficient in Erbil, Kurdistan region of Iraq. *Remote Sensing*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/RS12081302>
- Nacar, S., Bayram, A., Baki, O. T., Kankal, M., & Aras, E. (2020). Spatial Forecasting of Dissolved Oxygen. *Water*, 12(4), 1041. <https://doi.org/10.3390/w12041041>
- Nizamuddin, Aldika, W. A., Ardiansyah, Hizir, & Muzailin. (2019). WEBGIS Application for Planning the Tsunami Evacuation Route. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 273(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/273/1/012051>
- Olii, M. R., Olii, A., & Pakaya, R. (2021). The integrated spatial assessment of the flood hazard using AHP-GIS: The case study of gorontalo regency. *Indonesian Journal of Geography*, 53(1), 126–135. <https://doi.org/10.22146/IJG.59999>
- Pratama, T. P. E., Supardi, Prihadita, W. P., Yuliatama, V. P., Ramadhani, S. P., Safitri, W., & Syifa, H. N. (2020). Index Overlay Analysis for Mapping Potential Flood Areas in Gowa, South Sulawesi Province. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, 1(1), 52–64.
- Priatna, A., Surya, B., & Syafri, S. (2025). Analisis Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Potensi Banjir Pada Daerah Aliran Sungai Tallo. *Urban and Regional Studies Journal*, 7(2), 113–125. <https://doi.org/10.35965/ursj.v7i2.6060>
- Rahmadhani, D. A., Hermawan, A., & Ardian, O. H. (2024). Analisis banjir di sungai cokroyasan bagian hilir. *5Th Ceedrims 2024*, 267–274.
- Rezaei Moghaddam, M. H., & Rahimpour, T. (2025). Evaluation and Zoning of Flood Hazard in the Aji Chai Basin Using the Multi-Criteria Decision-Making Technique and a Statistical Method (SI). *Journal of Watershed Management Research*, 16(1), 27–42. <https://doi.org/10.61882/jwmr.2024.1265>
- Rohmah, L. T., Ferdiansyah, & Yanuar, M. R. (2025). Analisis Kerentanan Banjir di Kota Tangerang: Pendekatan Berbasis Data Geospasial untuk Pengambilan Keputusan dalam Perencanaan Tata Ruang Berkelanjutan. *Sainstech: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Sains Dan Teknologi*, 35(2), 58–68.
- Sabihi, A., Mariyati, S., Lihawa, F., Sune, N., Nurfaika, N., & Noi, S. (2025). Flood Disaster Mitigation In East Bolaang Mongondow Through Participatory Mapping Geographic Information System. *Dinamisia : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 9(6), 1822–1836. <https://doi.org/10.31849/dinamisia.v9i6.27703>
- Setiawan, D. (2021). Analisis Curah Hujan di Indonesia untuk Memetakan Daerah Potensi Banjir dan Tanah Longsor dengan Metode Cluster Fuzzy C-Means dan Singular Value Decomposition (SVD). *Engineering, Mathematics and Computer Science (EMACS) Journal*, 3(3), 115–120. <https://doi.org/10.21512/emacsjournal.v3i3.7428>
- Sulistiyowati Rahayu, D., Nuraini, N., Wali Arubusman, Z., & Cahyadi, C. (2025). Kerangka Decision Support System Berbasis Aturan untuk Evaluasi Izin Mendirikan Bangunan di Kawasan Rawan Longsor dan Banjir Kasus Kabupaten Bogor. *Jurnal Telematika*, 20(2), 85–100.

- <https://doi.org/10.61769/telematika.v20i2.786>
- Try, S., Sayama, T., Oeurng, C., Sok, T., Ly, S., & Uk, S. (2022). Identification of the spatio-temporal and fluvial-pluvial sources of flood inundation in the Lower Mekong Basin. In *Geoscience Letters* (Vol. 9, Nomor 1). <https://doi.org/10.1186/s40562-022-00215-0>
- Yang, H., Wei, C., Sun, G., Tao, X., Wang, Y., & Xing, W. (2024). Responses of Soil and Ammonia Nitrogen Loss Rates to Hydraulic Parameters under Different Slope Gradients and Rainfall Intensities. *Water (Switzerland)*, 16(2). <https://doi.org/10.3390/w16020230>
- Zain, A., Legono, D., Rahardjo, A. P., & Jayadi, R. (2021). Review on Co-factors Triggering Flash Flood Occurrences in Indonesian Small Catchments. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 930(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/930/1/012087>
- Zhang, P., Sun, W., Xiao, P., Yao, W., & Liu, G. (2022). Driving Factors of Heavy Rainfall Causing Flash Floods in the Middle Reaches of the Yellow River: A Case Study in the Wuding River Basin, China. *Sustainability (Switzerland)*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/su14138004>