

Prediksi Kerawanan Banjir di Daerah Aliran Sungai Olaya Kabupaten Parigi Moutong

Rivai^{a*}, I.G. Tunas^b dan R. Mardin^b

^aMakasiswa Program Studi Teknik Sipil Program Doktorat, Pascasarjana Universitas Tadulako, Palu, Indonesia, 94112

^aProgram Studi Teknik Sipil Program Doktorat, Pascasarjana Universitas Tadulako, Palu, Indonesia, 94112

* Corresponding author's e-mail: vai_ari@yahoo.co.id

Received: 5 March 2025; revised: 18 May 2025; accepted: 25 May 2025

Abstract: This study aims to determine the distribution of flood vulnerability levels in the Olaya Watershed located in Parigi Moutong Regency, using two previous research methods, namely the Hamdani et al. method, and the Latue & Latue method, which were then validated in the field to determine the level of validity of the two methods. The method used is data collection such as rainfall data, flood incident data, Olaya Watershed maps, DEMNAS maps, soil type maps and spot 6 satellite image maps. The analysis carried out in this study includes classifying and scoring the classification of rainfall parameters, slope gradient, land use, soil type, river buffer, elevation and Overlay is carried out by combining all input flood vulnerability parameters that have been mapped, to obtain flood vulnerability values and flood vulnerability level maps. The results of this study are the results of the analysis of flood vulnerability levels using the Hamdani et al. method, divided into Most Safe, Threatened, Vulnerable and Most Vulnerable while the Latue & Latue method is divided into Low, Medium and High. The results of these two methods are not yet in accordance with the flood events in the Olaya Watershed, this is because the weight of each parameter is not yet appropriate, there are still parameters that have not been included in the flood vulnerability modeling, the scoring of the parameter classification is not yet appropriate and the classification and scoring of the parameters are different.

Keywords: *Olaya watershed, flood vulnerability parameters, Hamdani method, Latue method.*

Abstrak: Studi ini bertujuan untuk mengetahui persebaran tingkat kerawanan banjir di DAS Olaya yang terletak di Kabupaten Parigi Moutong, dengan menggunakan dua metode penelitian terdahulu yaitu metode Hamdani et al., dan metode Latue & Latue, yang kemudian divalidasi dilapangan untuk mengetahui tingkat kevalidan kedua metode tersebut. Metode yang digunakan yaitu pengumpulan data seperti data curah hujan, data kejadian banjir, peta DAS Olaya, peta DEMNAS, peta jenis tanah dan peta citra satelit spot 6. Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi melakukan klasifikasi dan skoring terhadap klasifikasi parameter curah hujan, kemiringan lereng, penggunaan lahan, jenis tanah, buffer sungai, elevasi dan dilakukan Overlay dengan menggabungkan seluruh input parameter kerawanan banjir yang telah dipetakan, untuk mendapatkan nilai kerawanan banjir dan peta tingkat kerawanan banjir. Hasil dari studi ini yaitu hasil analisis tingkat kerawanan banjir metode Hamdani et al., terbagi atas Paling Aman, Terancam, Rawan dan Paling Rawan sedangkan metode Latue & Latue terbagi atas Rendah, Sedang dan Tinggi. Hasil kedua metode ini belum sesuai dengan kejadian banjir di DAS Olaya, hal ini dikarenakan bobot setiap parameter belum sesuai, masih ada parameter yang belum dimasukkan dalam pemodelan kerawanan banjir, pemberian skor pada klasifikasi parameter belum tepat serta pengklasifikasian dan pemberian skoring pada parameter yang berbeda.

Kata kunci: *DAS Olaya, parameter kerawanan banjir, metode Hamdani, metode Latue*

1. Pendahuluan

Banjir merupakan salah satu bencana alam yang paling sering terjadi di Indonesia, dengan dampak signifikan terhadap kehidupan manusia, infrastruktur, dan ekonomi. Indonesia sebagai negara dengan curah hujan tinggi dan memiliki ribuan Daerah Aliran Sungai (DAS) menghadapi risiko banjir yang semakin meningkat, terutama dengan adanya perubahan iklim global dan perubahan tata guna lahan yang masif.

Banjir adalah tanah tergenang akibat luapan sungai, yang disebabkan oleh hujan deras atau banjir akibat kiriman dari daerah lain yang berada di tempat yang lebih tinggi [1]. Banjir juga didefinisikan sebagai tergenangnya suatu tempat akibat meluapnya air yang melebihi kapasitas pembuangan air disuatu wilayah dan menimbulkan kerugian fisik, sosial dan ekonomi [2]. Sedangkan menurut Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana tentang Penanggulangan Bencana, banjir adalah peristiwa atau keadaan dimana

terendamnya suatu daerah atau daratan karena volume air meningkat [3].

Secara teoretis, kejadian banjir dapat dianalogikan dengan sistem wadah dan saluran pembuangan - seperti bak mandi dengan drainase terbatas. Ketika volume air yang masuk (curah hujan) melebihi kapasitas pembuangan (sistem drainase alami atau buatan), atau ketika saluran pembuangan mengalami hambatan (sedimentasi, sampah, konstruksi tidak tepat), maka air akan meluap dan menggenangi area sekitarnya. Analogi sederhana ini menggambarkan interaksi kompleks antara faktor-faktor yang berkontribusi terhadap kejadian banjir.

Faktor yang berpengaruh terhadap kejadian banjir yaitu faktor fisik/alami, faktor manusia atau gabungan keduanya. Curah hujan, penggunaan lahan, tutupan lahan, jenis tanah, kemiringan lereng merupakan contoh faktor fisik/alami, sedangkan faktor manusia merupakan faktor yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti pembangunan kawasan permukiman atau membuang sampah di sungai

[4]. Kerawanan banjir adalah daerah yang dari segi fisik dan klimatologis memiliki kemungkinan terjadi banjir dalam jangka waktu tertentu dan berpotensi terhadap rusaknya alam. Wilayah-wilayah yang rawan banjir biasanya terletak pada daerah datar, dekat dengan sungai, berada di daerah cekungan dan di daerah pasang surut air laut [5].

Kerangka hukum nasional telah memberikan landasan untuk pengelolaan dan mitigasi banjir. Selain UU No. 24 Tahun 2007, terdapat regulasi pendukung seperti Peraturan Pemerintah No. 21 Tahun 2008 tentang Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana, Peraturan Kepala BNPB No. 02 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana, serta Peraturan Menteri PUPR No. 28/PRT/M/2015 tentang Penetapan Garis Sempadan Sungai dan Garis Sempadan Danau. Pada tingkat internasional, Kerangka Sendai untuk Pengurangan Risiko Bencana 2015-2030 menekankan pentingnya pemahaman risiko bencana, termasuk pemetaan dan analisis kerawanan banjir, sebagai komponen utama dalam strategi pengurangan risiko bencana.

Kerawanan banjir dapat diidentifikasi secara cepat, mudah dan akurat melalui SIG terhadap parameter-parameter yang dianggap mempengaruhi fenomena banjir [6]. Analisis kerawanan banjir telah mengalami perkembangan signifikan dalam dua dekade terakhir, terutama dengan kemajuan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) dan metode-metode pemodelan spasial. Perkembangan ini dapat dilihat dari evolusi parameter yang digunakan, metode pembobotan, hingga integrasi teknologi penginderaan jauh.

Dalam fase awal (2000-2010), studi kerawanan banjir umumnya menggunakan parameter dasar seperti curah hujan, kemiringan lereng, dan tutupan lahan dengan pembobotan sederhana [2]. Fase berikutnya (2010-2015) melihat pengayaan parameter yang dipertimbangkan, seperti yang dilakukan oleh Hamdani [7] yang menggunakan tiga parameter (curah hujan, kelerengan, dan penggunaan lahan) dengan metode pembobotan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) melalui matriks perbandingan berpasangan. Metodologi ini menandai peralihan dari pembobotan subjektif ke pendekatan yang lebih sistematis.

Penelitian tentang kerawanan banjir telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Kusumo [8], Nifen [9], dan Andrian [10] meneliti tentang kerawanan banjir dengan menggunakan enam parameter kerawanan banjir yaitu curah hujan, kemiringan lereng, jenis tanah, penggunaan lahan, *buffer* Sungai dan elevasi. Pada penelitian mereka, dalam pemberian bobot pada parameter yang berpengaruh terhadap kerawanan banjir, didasarkan atas pertimbangan pengaruh masing-masing parameter terhadap banjir. Pembobotan dilakukan menggunakan metode *expertise judgement* yaitu dilakukan berdasarkan pendapat para ahli. Bobot tertinggi akan diberikan kepada parameter yang paling berpengaruh terhadap banjir.

Era perkembangan selanjutnya (2015-2020) ditandai dengan peningkatan kompleksitas dalam pendekatan metodologis. Kusumo [8] dan Nifen [9] meningkatkan jumlah parameter menjadi enam dengan pembobotan berbasis *expertise judgement*, memperkaya analisis dengan mempertimbangkan lebih banyak faktor geomorfologis dan

hidrologis. Andrian [10] selanjutnya menyempurnakan metodologi pembobotan dengan tetap menggunakan enam parameter serupa.

Penelitian tentang kerawanan banjir juga dilakukan oleh Hamdani [7], Dhuha [11], dan Latue [12]. Hamdani meneliti kerawanan banjir di Pulau Bangka dengan menggunakan tiga parameter kerawanan banjir yaitu curah hujan, kelerengan dan penggunaan lahan. Analisa untuk pembobotan parameter kerawanan banjir menggunakan analisa *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dengan metode *pairwise comparison* (AHP) atau matriks perbandingan berpasangan. Selanjutnya Latue meneliti kerawanan banjir di DAS Batu Merah Kota Ambon dengan menggunakan metode *Spatial Multi Criteria Evaluation* (SMCE) dengan menggunakan enam parameter kerawanan banjir yaitu curah hujan, penggunaan lahan, elevasi, lereng, jenis tanah dan *buffer* sungai. Analisa untuk pembobotan parameter kerawanan banjir menggunakan rumus yang telah dimodifikasi dari penelitian Haryati [10].

Era terkini (2020-sekarang) menunjukkan pendekatan yang lebih komprehensif dan terintegrasi. Latue [12] mengembangkan pendekatan dengan menggunakan *Spatial Multi Criteria Evaluation* (SMCE), menandai integrasi yang lebih kuat antara analisis spasial dan pengambilan keputusan multi-kriteria.

Penelitian lebih terbaru dilakukan oleh Dhuha [11], dengan menganalisa sepuluh parameter kerawanan banjir, yaitu jarak kerapatan jalan, populasi penduduk, rata-rata kejadian banjir tahunan, jarak ke sungai, tata guna lahan, jenis tanah, geologi, *drainage density*, kemiringan dan curah hujan tahunan. Namun demikian, kelemahan penelitian yang dilakukan oleh Dhuha ini adalah lebih cocok untuk digunakan pada kawasan yang padat penduduk serta infrastruktur jalan yang sudah banyak.

Kemajuan terbaru ditunjukkan oleh Dhuha yang memperluas cakupan menjadi sepuluh parameter, termasuk faktor-faktor antropogenik seperti kerapatan jalan dan populasi penduduk. Meskipun pendekatan ini lebih komprehensif, tetapi memiliki kelemahan dalam aplikasi untuk wilayah dengan kepadatan penduduk rendah dan infrastruktur jalan terbatas, seperti banyak ditemui di daerah-daerah rural Indonesia [11].

Meskipun perkembangan metodologis yang signifikan dalam analisis kerawanan banjir, terdapat beberapa kesenjangan penting yang perlu diisi. Pertama, minimnya studi validasi empirik yang mengkonfirmasi akurasi metode-metode tersebut di lapangan. Kedua, belum ada studi komparatif yang secara sistematis membandingkan efektivitas metode berbeda pada DAS yang sama dengan karakteristik geografis spesifik Indonesia. Ketiga, sebagian besar penelitian belum mempertimbangkan peningkatan frekuensi banjir akibat perubahan iklim yang memerlukan analisis temporal lebih dalam.

Kabupaten Parigi Moutong merupakan kabupaten yang memiliki 44 (Empat Puluh Empat) Daerah Aliran Sungai (DAS), yang beberapa DAS merupakan langganan banjir tiap tahun, salah satunya adalah DAS Olaya. Berdasarkan Data dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Parigi Moutong, berturut-turut pada tahun 2020, 2021 dan 2022 di DAS ini terjadi masing-masing 1 (satu)

bencana banjir, tahun 2023 di DAS ini terjadi 2 (dua) kali bencana banjir dan di tahun 2024 meningkat menjadi 4 (empat) kali bencana banjir.

Peningkatan frekuensi banjir di DAS Olaya yang signifikan (dari 1 kejadian per tahun pada 2020-2022 menjadi 4 kejadian pada 2024) menunjukkan urgensi untuk memiliki metode penilaian kerawanan banjir yang akurat dan tervalidasi. Fenomena ini juga mengindikasikan kemungkinan adanya perubahan dalam pola curah hujan, perubahan tata guna lahan, atau faktor lain yang perlu diidentifikasi melalui metode analisis yang tepat untuk pengembangan strategi mitigasi yang efektif.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persebaran tingkat kerawanan banjir di DAS Olaya dengan menggunakan dua formula metode penelitian yaitu metode Hamdani et al., dan metode Latue & Latue, yang kemudian hasilnya divalidasi di lapangan untuk mengetahui tingkat kevalidan formula kedua metode tersebut.

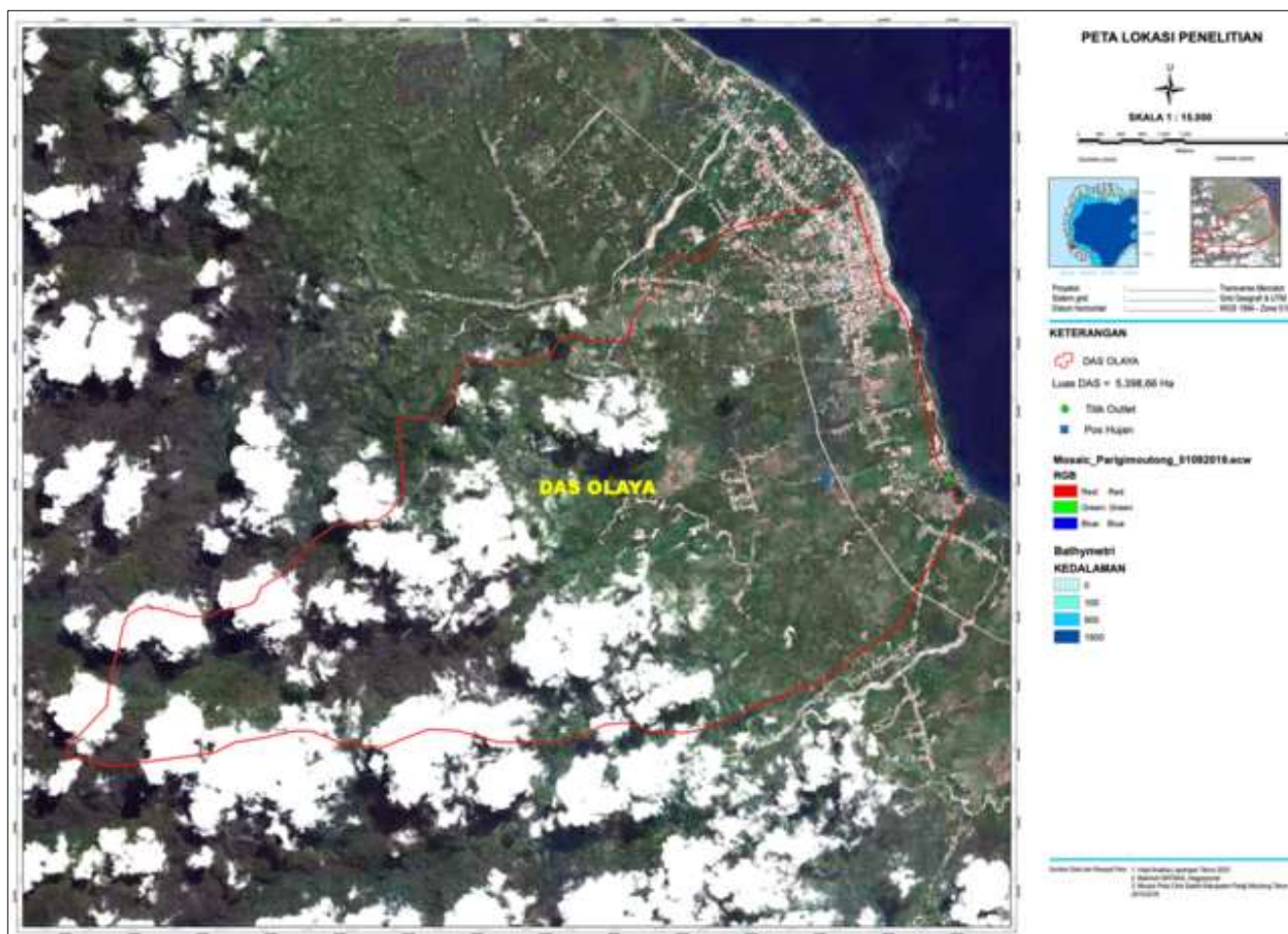
Dengan membandingkan secara sistematis dua metode berbeda (Hamdani dan Latue) yang mewakili pendekatan berbeda dalam analisis kerawanan banjir, serta melakukan

validasi lapangan untuk menguji akurasi metode-metode tersebut, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan metodologi yang lebih akurat dan kontekstual untuk analisis kerawanan banjir di Indonesia. Hasil penelitian diharapkan dapat diintegrasikan ke dalam sistem peringatan dini dan perencanaan mitigasi bencana, serta memberikan landasan untuk penelitian lebih lanjut tentang adaptasi metode analisis kerawanan banjir sesuai karakteristik spesifik DAS di Indonesia.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi studi berada Daerah Aliran Sungai (DAS) Olaya Kecamatan Parigi, Kabupaten Parigi Moutong, Provinsi Sulawesi Tengah dengan luas DAS 5.398,66 ha. Lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**. **Gambar 1** menunjukkan DAS Olaya merupakan deliniasi bersumber dari data Balai Wilayah Sungai (BWS) III Palu dimana titik outlet berada pada muara sungai Olaya.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

2.2. Jenis dan Sumber Data

Jenis Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah:

1). Curah Hujan

Curah hujan adalah jumlah hujan terkumpul di wilayah daratan tanpa memperhitungkan penguapan, rembesan

atau aliran lainnya. Arti dari hujan sebesar 1 mm adalah volume hujan yang tertampung setinggi 1 mm dan berinfiltrasi area seluas 1 m² dengan satuan milimeter (mm) atau inci. Curah hujan harian adalah hujan yang

terjadi dan tercatat pada stasiun pengamatan curah hujan setiap hari, yang dihitung selama 24 jam [13]

2). Jenis Tanah

Jenis Tanah pada suatu daerah sangat berpengaruh dalam proses penyerapan air atau yang biasa kita sebut sebagai proses infiltrasi. Infiltrasi adalah proses aliran air di dalam tanah secara vertikal akibat adanya potensial gravitasi. Secara fisik terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi infiltrasi diantaranya jenis tanah, kepadatan tanah, kelembaban tanah dan tanaman di atasnya, laju infiltrasi pada tanah semakin lama semakin kecil karena kelembaban tanah juga mengalami peningkatan [14]

3). Kemiringan Lereng

Lereng adalah setiap elemen geometrik dari bagian permukaan bumi yang padat. Tidak ada konotasi genetis atau lokasional dari lereng. Lereng dapat terbentuk di subaerial, dipermukaan daratan dan di bawah permukaan laut, serta dapat terbentuk oleh berbagai proses. Dalam artian sempit lereng digunakan untuk menunjukkan sudut permukaan topografi dengan bidang horisontal. Kemiringan lereng (*slope*) menunjukkan besarnya sudut yang terbentuk dari perbedaan ketinggian pada sebuah bentang alam, yang biasanya disajikan dalam satuan persentase atau derajat [15]

4). Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan merupakan salah satu komponen penting dalam mendukung sistem kehidupan pada suatu kawasan, semakin baik jenis penutupan lahan atau vegetasi hutannya maka dapat diasumsikan bahwa kawasan tersebut memiliki nilai keanekaragaman hayati yang tinggi. Perubahan penggunaan lahan, baik yang diakibatkan oleh aktifitas manusia maupun berubah secara alami di nilai sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas lingkungan, keanekaragaman hayati dalam mendukung kehidupan pada suatu kawasan [16]. Di Daerah Aliran Sungai (DAS) perubahan penggunaan lahan menjadi salah satu faktor penting dalam terjadinya banjir pada suatu kawasan.

5). Elevasi Lahan

Ketinggian (elevasi) lahan adalah ukuran tinggi daerah di atas permukaan laut. Ketinggian dapat mempengaruhi terjadinya banjir. Semakin rendah suatu daerah maka semakin berpotensi mengalami banjir, begitu pula sebaliknya. Semakin tinggi suatu daerah, maka semakin aman akan bencana banjir [17]

6). Buffer Sungai

Buffer merupakan batas dengan jarak-jarak tertentu yang dibuat mengelilingi suatu titik poligon atau garis, dalam hal ini pembuatan peta buffer sungai dapat menunjukkan daerah-daerah yang berbatasan atau berdekatan dengan sungai, dimana semakin dekat suatu daerah dengan sungai maka semakin besar peluang suatu daerah untuk terjadinya banjir [18]

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- Data hujan yang diambil dari stasiun terdekat, yaitu pos hujan Baliara dengan pengamatan selama 5 tahun (2020-2024) yang didapatkan dari Kantor BMKG Palu.
- Peta DAS Olaya didapatkan dari Kantor Balai Wilayah Sungai (BWS) III Palu.
- Data kejadian bencana banjir tahun 2020 s/d tahun 2024 dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Parigi Moutong.
- Peta Jenis Tanah dan Peta Citra Satelit Spot 6 Kabupaten Parigi Moutong dari Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Parigi Moutong.
- Data Digital Elevation Model* (DEM) Nasional dari Website resmi Badan Informasi Geospasial <https://tanahair.indonesia.go.id>.

2.3. Metode dan Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan basis analisis spasial untuk mengkaji tingkat kerawanan banjir di DAS Olaya, Kabupaten Parigi Moutong. Metode yang digunakan adalah eksperimental-komparatif dengan membandingkan dua metode analisis kerawanan banjir yaitu metode Hamdani [7] yang menggunakan tiga parameter dengan pembobotan AHP dan metode Latue [12] yang menggunakan enam parameter dengan pembobotan *SMCE*. Penelitian ini menggabungkan teknik penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk pemrosesan data spasial dengan validasi lapangan untuk konfirmasi empiris. Data penelitian bersumber dari data primer berupa observasi dan pengukuran lapangan serta data sekunder meliputi data curah hujan, DEM, peta jenis tanah, citra satelit, dan data historis kejadian banjir. Desain penelitian dirancang secara sistematis meliputi pengumpulan dan pengolahan data spasial, analisis *overlay* dengan pembobotan berbeda sesuai masing-masing metode, klasifikasi tingkat kerawanan dalam lima kategori. Beberapa tahapan yang dilakukan antara lain:

- Pengumpulan data.
- Untuk metode Hamdani et al., dilakukan klasifikasi dan memberikan kelas pada parameter curah hujan, kemiringan lereng dan penggunaan lahan, sedangkan untuk metode Latue & Latue, dilakukan klasifikasi dan memberikan kelas pada parameter curah hujan, kemiringan lereng, penutupan lahan, elevasi lahan, *buffer* sungai dan jenis tanah.
- Dengan bantuan software *ArcGIS* Desktop 10.8, dilakukan *overlay* terhadap semua parameter. *Overlay* merupakan prosedur penting dalam analisis SIG (Sistem Informasi Geografis). *Overlay* yaitu kemampuan untuk menempatkan grafis satu peta diatas grafis peta yang lain dan menampilkan hasilnya di layar komputer atau pada plot. Secara singkatnya, *overlay* menampilkan suatu peta digital pada peta digital yang lain beserta atribut-atributnya dan menghasilkan peta gabungan keduanya yang memiliki informasi atribut dari kedua peta tersebut [19]. *Overlay* merupakan proses penyatuan data dari lapisan *layer* yang berbeda. Secara sederhana *overlay* disebut sebagai operasi visual yang

membutuhkan lebih dari satu *layer* untuk digabungkan secara fisik [20].

- 4) Menghitung Tingkat Kerawanan Banjir dengan Metode Hamdani et al., dan metode Latue & Latue.

Kerawanan banjir didapatkan dari penjumlahan skoring dan bobot tiap parameter (didapatkan dengan analisis AHP atau penelitian terdahulu) yang mempengaruhi banjir:

$$Kerawanan\ Banjir(KB) = B_1 \times P_1 + B_n \times P_n \quad (1)$$

dimana:

B_1 = Bobot Parameter 1

B_n = Bobot Parameter n

P_1 = Parameter 1

P_n = Parameter n

- 5) Menentukan Interval Kelas dan Klasifikasi Kelas Rawan Banjir

Interval kelas digunakan untuk mengklasifikasi hasil *overlay* ke dalam tingkat kelas kerawanan banjir. Interval kelas dapat dihitung dengan menggunakan rumus Sturges [21], yakni:

$$KC_1 = \frac{X_t - X_r}{k} \quad (2)$$

$$K = 1 + 3,3 \log N \quad (3)$$

dengan:

C_1 = Interval Kelas

X_t = Data Terbesar

X_r = Data Terkecil

K = Jumlah Kelas

N = Jumlah Data

Pengklasifikasian kelas rawan banjir dilakukan pada hasil akhir aplikasi model pada data atribut SIG. Daerah yang sangat rawan terhadap banjir akan mempunyai skor total kerawanan banjir yang tinggi dan sebaliknya daerah yang tidak rawan terhadap banjir akan mempunyai skor yang rendah [21]. Peta kerawanan banjir merupakan hasil akhir dari analisis kerawanan banjir.

- 6) Melakukan Validasi

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Metode Hamdani

Penelitian tentang kerawanan banjir dilakukan oleh Hamdani et al., menggunakan analisa *Analitycal Hierarchy Process* (AHP) dengan matriks *pairwise comparison* atau matriks perbandingan berpasangan. Hamdani et al., meneliti tiga parameter kerawanan banjir yaitu curah hujan, kelerengan dan penggunaan lahan.

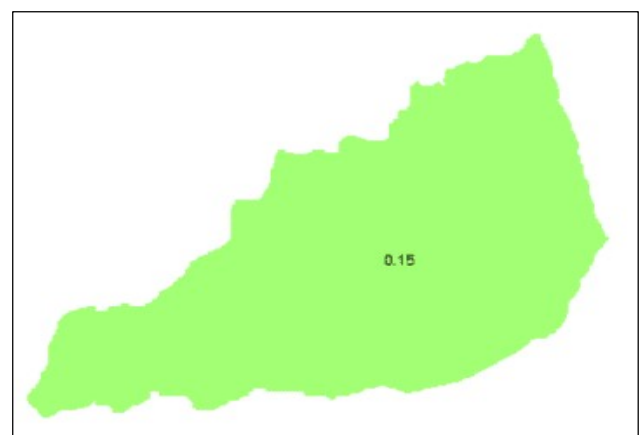
Berdasarkan peta curah hujan DAS Olaya, total curah hujan rata-rata di DAS Olaya dari tahun 2020 sampai dengan tahun 2024 adalah 0,15 mm/jam. Berdasarkan Tabel 1, curah hujan ini masuk kategori hujan sangat lemah (kelas rawan = 1). Peta sebaran curah hujan di DAS Olaya dapat dilihat pada Gambar 2.

Pembagian kelas rawan untuk penggunaan lahan (*landuse*) disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan Gambar 3, penggunaan lahan di DAS Olaya didominasi oleh Hutan

Sekunder sebesar 1895,04 Ha (35,11 %) dan berturut-turut Ladang seluas 1805,80 Ha (33,45 %), Pertanian seluas 927,44 Ha (17,18%), Perumahan 504,12 Ha (9,34 %), Tambang seluas 170,14 Ha (3,15 %), Jalan seluas 73,93 Ha (1,37 %) dan badan air seluas 21,83 Ha (0,4 %).

Tabel 1. Derajat curah hujan

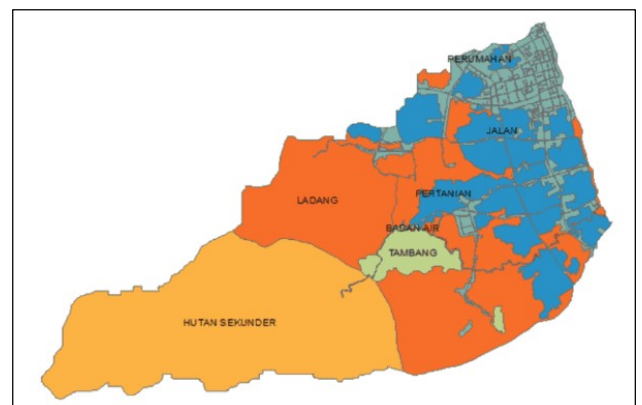
Derajat Curah Hujan	Kelas Rawan	Intensitas Curah Hujan (mm/jam)
Hujan sangat lemah	1	< 1,20
Hujan lemah	2	1,20 – 3,00
Hujan normal	3	3,00 – 18,0
Hujan deras	4	18,0 – 60,0
Hujan sangat deras	5	> 60,0



Gambar 2. Peta sebaran hujan

Tabel 2. Kelas rawan *landuse*

Kelas Rawan	Penggunaan Lahan
5	Tambang, sawah, danau/kolong air
4	Ladang, perumahan
3	Perkebunan, semak belukar
2	Hutan sekunder
1	Hutan primer



Gambar 3. Peta penggunaan lahan

Pada Tabel 3, Kelas Lereng terbagi atas 5 (lima) klasifikasi, yaitu Datar, Agak Miring, Miring, Agak Curam

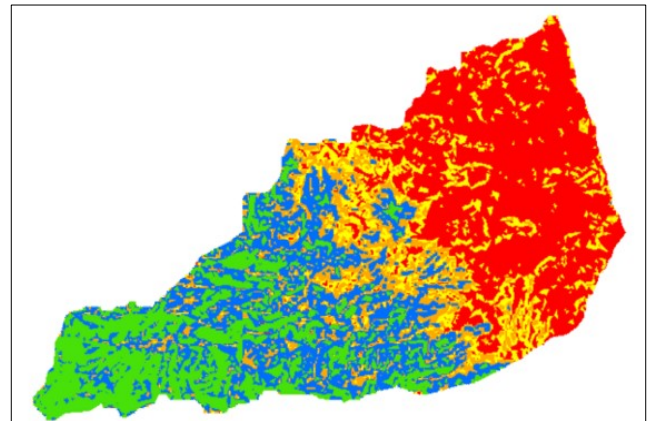
dan Curam. Hasil analisis pada Gambar 4 menunjukkan bahwa kemiringan lereng 0-8 % sebesar 39,79 %, kemiringan lereng 8-15 % sebesar 11,86 %, kemiringan lereng 15-25 % sebesar 11,80 %, kemiringan lereng 25-45 % sebesar 21,32 % dan kemiringan lereng di atas 45 % sebesar 15,23 %.

Tabel 3. Kelas Lereng

Kemiringan	Klasifikasi	Kelas
0-8 %	Datar	5
8-15 %	Agak miring	4
15 – 25 %	Miring	3
25 – 45 %	Agak curam	2
> 45 %	Curam	1

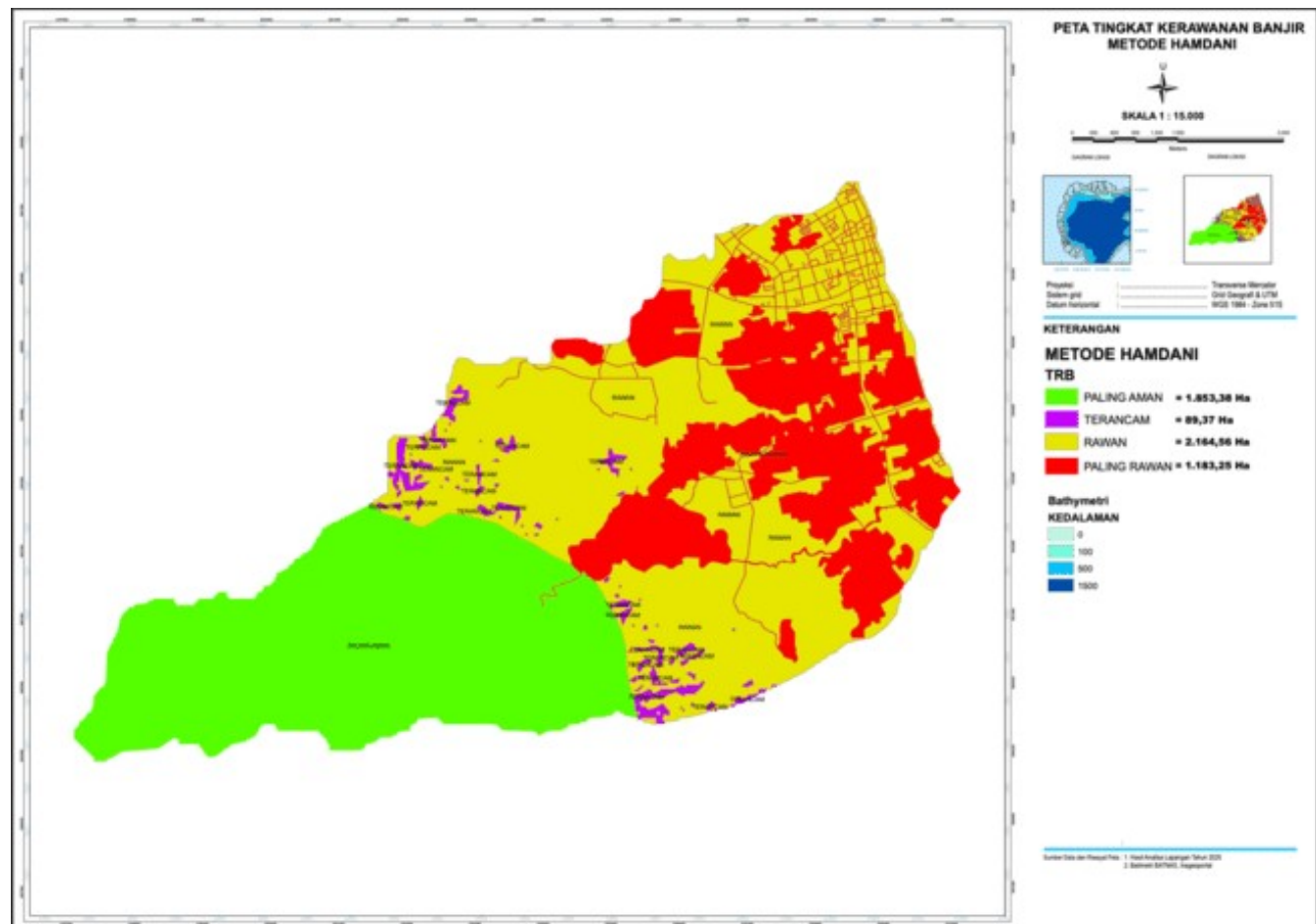
Proses selanjutnya yaitu melakukan *overlay* terhadap 3 peta parameter banjir untuk mendapatkan nilai kerawanan banjir. Kerawanan banjir dihitung dengan formula (1):

$$KB = (0,87 \times \text{Penggunaan Lahan}) + (0,27 \times \text{Curah Hujan}) + (0,08 \times \text{Lereng}) \quad (4)$$



Gambar 4. Peta lereng

Hasil dari nilai Kerawanan Banjir kemudian di klasifikasikan ke dalam 5 (Lima) kelas Tingkat Kerawanan Banjir, yaitu Paling Aman, Aman, Terancam, Rawan dan Paling Rawan (Tabel 4).



Gambar 5. Peta tingkat kerawanan banjir

Metode Hamdani et al., membagi Tingkat Kerawanan Banjir menjadi 5 (Lima) Kelas, yaitu Paling Aman, Aman, Terancam, Rawan dan Paling Rawan. Dari Peta Tingkat Kerawanan Banjir metode Hamdani et al., terlihat sebagian besar wilayah DAS Olaya berada pada daerah Rawan

Bencana Banjir seluas 2.164 Ha (40,91 %), yang penggunaan lahannya merupakan ladang dan sebagian perumahan, sedangkan daerah yang Paling Aman dari bencana banjir semuanya terletak di wilayah yang penggunaan lahannya merupakan hutan sekunder dengan

luas 1.853,38 Ha (35,03 %). Peta Tingkat Kerawanan Banjir Metode Hamdani [7], ditunjukkan pada Gambar 5.

Tabel 4. Luas dan Tingkat Kerawanan Banjir

Tingkat Kerawanan	Luas (Ha)
Paling Aman	1.853,38
Aman	-
Terancam	89,37
Rawan	2.164,56
Paling Rawan	1.183,25

3.2. Metode Latue

Latue menggunakan 6 (enam) parameter digunakan untuk melakukan analisis kerawanan banjir di Das Olaya. Parameter tersebut adalah Curah Hujan, Jenis Tanah, Penggunaan Lahan, Kemiringan Lereng, Elevasi dan *Buffer* Sungai. Tabel 5 menunjukkan peta sebaran curah hujan di DAS Olaya yaitu sebesar 1307,40 mm/tahun.

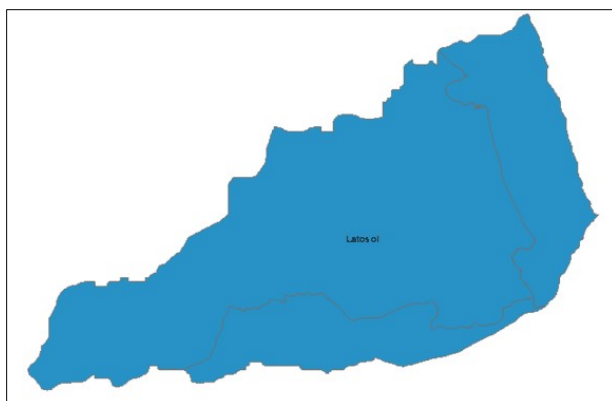
Tabel 5. Scoring parameter curah hujan

Skoring	Intensitas Curah Hujan (mm/tahun)
1	< 1500
2	1500 – 2000
3	2000 – 2500
4	2500 – 3000
5	> 3000

Berdasarkan Gambar 6, jenis tanah di DAS Olaya adalah Latosol. Jenis Tanah Latosol pada Tabel 6 berada pada skor 4.

Tabel 6. Scoring parameter jenis tanah

Skoring	Jenis Tanah
1	Rendzina
2	Andosol, Laterik
3	Litosol
4	Latosol
5	Kambisol, Aluvial, Planoso

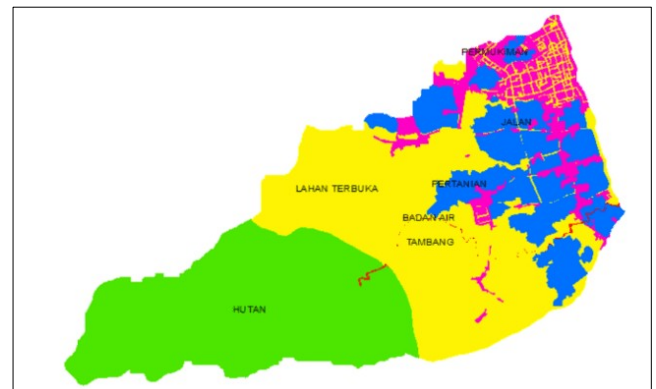


Gambar 6. Peta jenis tanah

Skoring Parameter Penggunaan Lahan dapat dilihat pada Tabel 7 dan Penggunaan lahan di DAS Olaya ditunjukkan oleh Gambar 7.

Tabel 7. Scoring Parameter Penggunaan Lahan

Skoring	Penggunaan Lahan
1	Hutan
2	Lahan pertanian
3	Permukiman
4	Lahan terbuka
5	Badan air

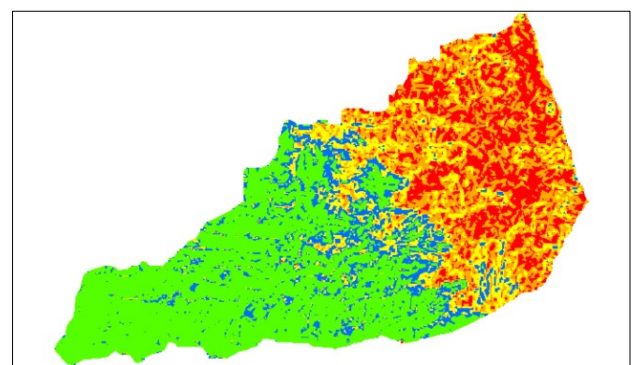


Gambar 7. Peta penggunaan lahan

Kemiringan Lereng pada DAS Olaya di dominasi oleh kemiringan lereng di atas 25 % memiliki presentase sebesar 36,77 %, selanjutnya kemiringan lereng 0-4 % sebesar 21,71 %, kemiringan lereng 4-8 % sebesar 17,71 %, kemiringan lereng 8-15 % sebesar 12,21 % dan kemiringan lereng 15-25 % sebesar 11,60 %. Tabel 8 menyajikan Skoring Parameter Kemiringan Lereng serta Gambar 8 menunjukkan Peta Kemiringan Lereng DAS Olaya.

Tabel 8. Scoring parameter kemiringan lereng

Skoring	Kemiringan Lereng (%)
5	0 - 4
4	4 - 8
3	8 - 15
2	15 - 25
1	> 25

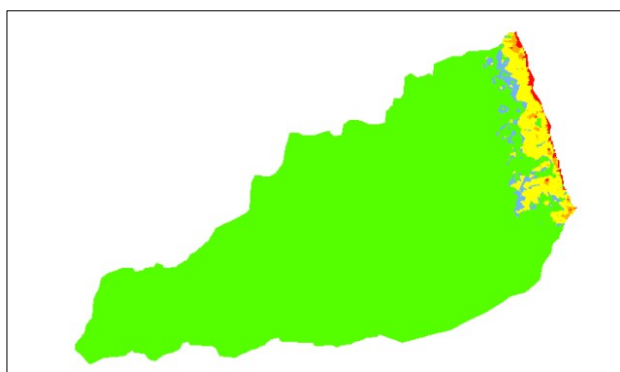


Gambar 8. Peta Kemiringan Lereng

Tabel 9 menyajikan Skoring Parameter Elevasi Tanah. Hasil analisis pada Gambar 9 menunjukkan, di DAS Olaya, elevasi diatas 10 meter diatas permukaan laut (Mdpl) seluas 4.914,07 Ha, ketinggian elevasi 8 – 10 Mdpl seluas 114,19 Ha, elevasi 4 – 8 Mdpl seluas 206,15 Ha, elevasi 2 – 4 Mdpl seluas 35,18 Ha dan elevasi 0-2 Mdpl seluas 20,84 Ha.

Tabel 9. *Scoring* Parameter Elevasi Tanah

Skoring	Elevasi (Mdpl)
1	> 10
2	8 - 10
3	4 - 8
4	2 - 4
5	0 - 2



Gambar 9. Peta elevasi

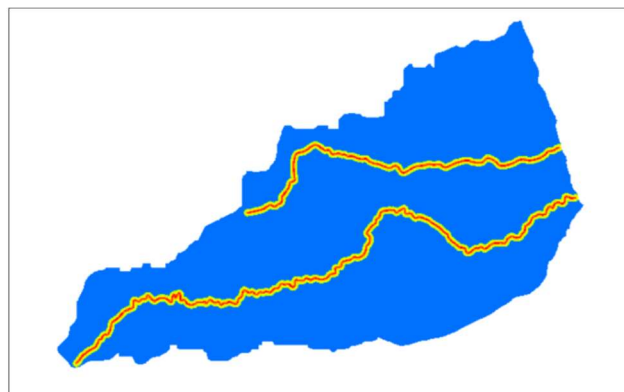
Berdasarkan Gambar 10, daerah yang berjarak 0 – 25 meter dari sungai memiliki luas 136,22 Ha, daerah yang berjarak 25 – 50 dari sungai memiliki luas 141,19 ha, daerah yang berjarak 50 – 75 dari sungai memiliki luas 139,63 Ha, daerah yang berjarak 75 – 100 dari sungai memiliki luas 137,96 Ha dan daerah yang berjarak lebih dari 100 meter dari sungai memiliki luas 4735,56 Ha. Skoring Parameter *Buffer* Sungai disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. *Scoring* Parameter *Buffer* Sungai

Skoring	<i>Buffer</i> Sungai (m)
1	> 100
2	75 - 100
3	50 - 75
4	25 - 50
5	0 - 25

Selanjutnya keenam parameter banjir diatas di overlay untuk mendapatkan nilai Kerawanan Banjir (KB), yang dihitung dengan rumus (4):

$$KB = (10 \times \text{Kemiringan Lereng}) + (20 \times \text{Penggunaan Lahan}) + (20 \times \text{Curah Hujan}) + (20 \times \text{Jenis Tanah}) + (10 \times \text{Elevasi}) + (20 \times \text{Buffer Sungai})$$



Gambar 10. Peta *Buffer* Sungai

Tingkat Kerawanan Banjir Metode Latue & Latue membagi 3 (Tiga) Kelas Kerawanan Banjir, yaitu Kerawanan Rendah, Kerawanan Sedang dan Kerawanan Tinggi (Tabel 11). Dari Gambar 11 Peta Tingkat Kerawanan Banjir Metode Latue terlihat bahwa DAS Olaya sebagian besar berada pada Kerawanan Rendah dengan luas 3.524,61 Ha (66,58 %). Kerawanan Tinggi dengan luas 79,69 Ha (1,51 %) hanya berada pada daerah sepanjang hilir Sungai Olaya dan Sungai Pombalow

Tabel 11. Luas dan tingkat kerawanan banjir

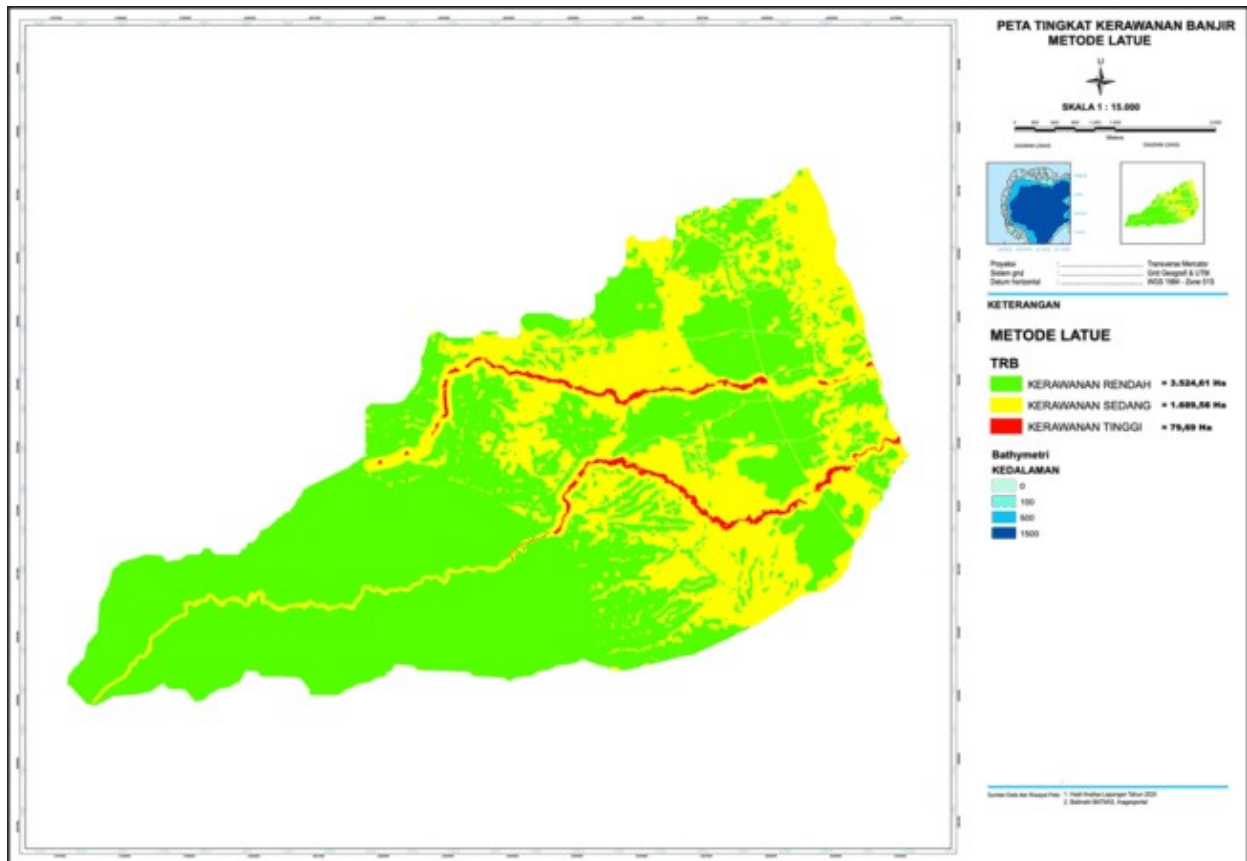
Tingkat Kerawanan	Luas (Ha)
Kerawanan Rendah	3.524,61
Kerawanan Sedang	1.689,58
Kerawanan Tinggi	79,69

3.3. Validasi

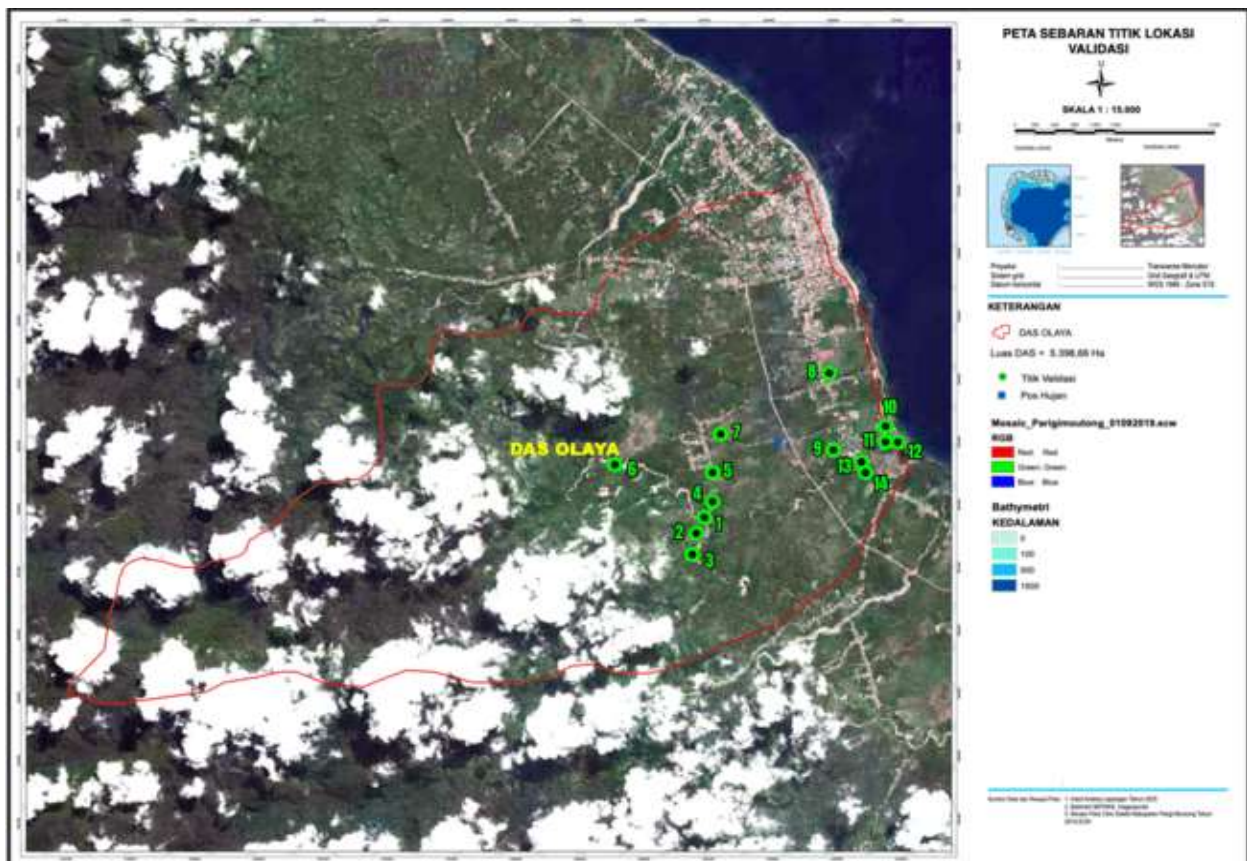
Proses validasi dilakukan oleh peneliti dengan melakukan cek lapangan untuk mengambil 14 (Empat Belas) titik untuk kemudian dikomparasikan dengan Peta Tingkat Kerawanan Banjir Metode Hamdani [7] dan Peta Tingkat Kerawanan Banjir Metode Latue [12], untuk mengetahui keakuratan kedua formula Tingkat Kerawanan Banjir dengan metode tersebut. Cek lapangan dilakukan dengan wawancara dengan penduduk di beberapa titik bekas lokasi banjir DAS Olaya serta wawancara dengan personil Tim Reaksi Cepat (TRC) Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Parigi Moutong. Gambar 12, Gambar 13 dan Gambar 14 berturut-turut memperlihatkan sebaran titik validasi di lapangan dan peta sebaran titik validasi pada Metode Hamdani et al., serta peta sebaran titik validasi pada metode Metode Latue & Latue.

Tabel 12 menunjukkan hasil validasi di lapangan. Dari tabel ini, terlihat bahwa hasil analisis kerawanan banjir metode Metode Hamdani [7] dan metode Latue [12] belum sesuai dengan kejadian banjir di DAS Olaya, selama 5 (Lima) tahun terakhir dari Tahun 2020 sampai dengan Tahun 2024. Hal ini dapat disebabkan oleh :

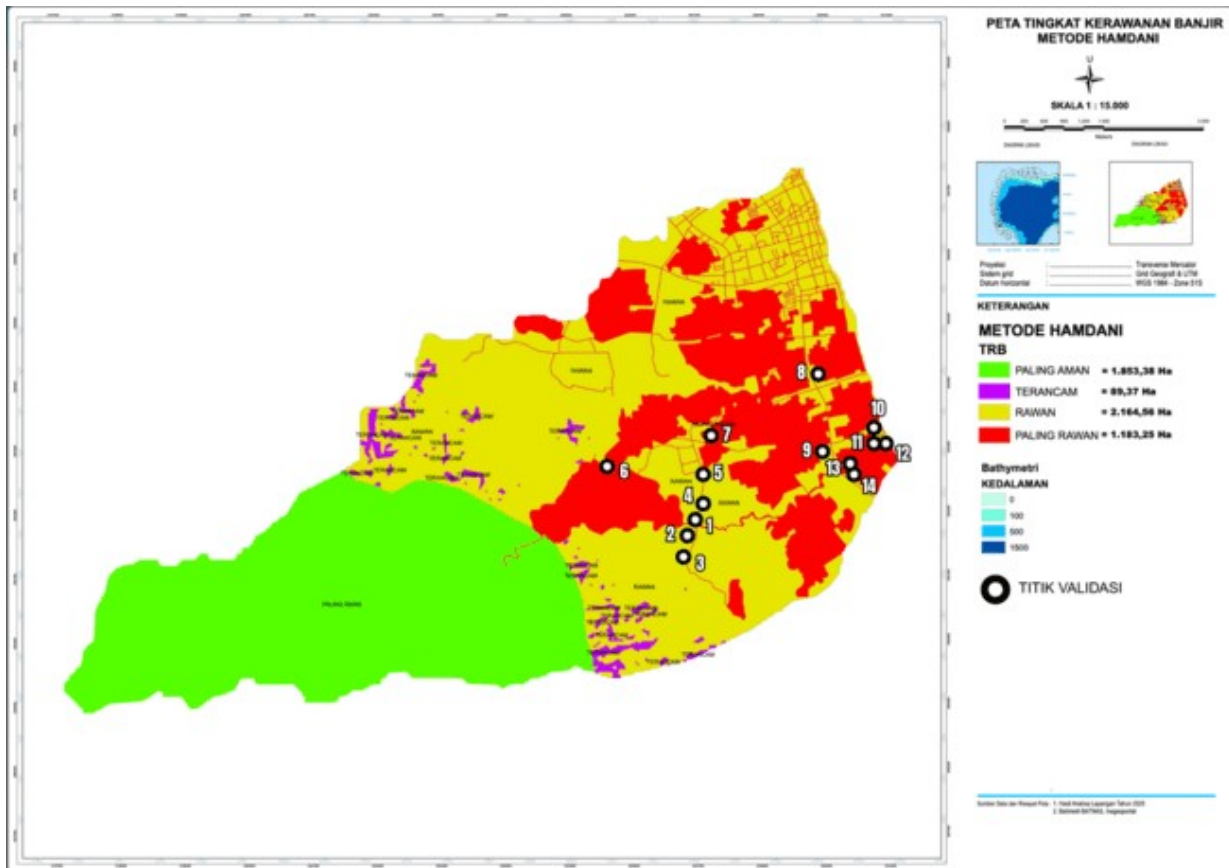
- 1) Bobot setiap parameter pada formula Kerawanan Banjir (KB) belum sesuai, dikarenakan penentuan bobot tergantung pada persepsi seorang ahli sehingga dalam hal ini melibatkan subyektifitas seorang ahli.
- 2) Masih ada parameter yang belum dimasukkan dalam pemodelan kerawanan banjir..



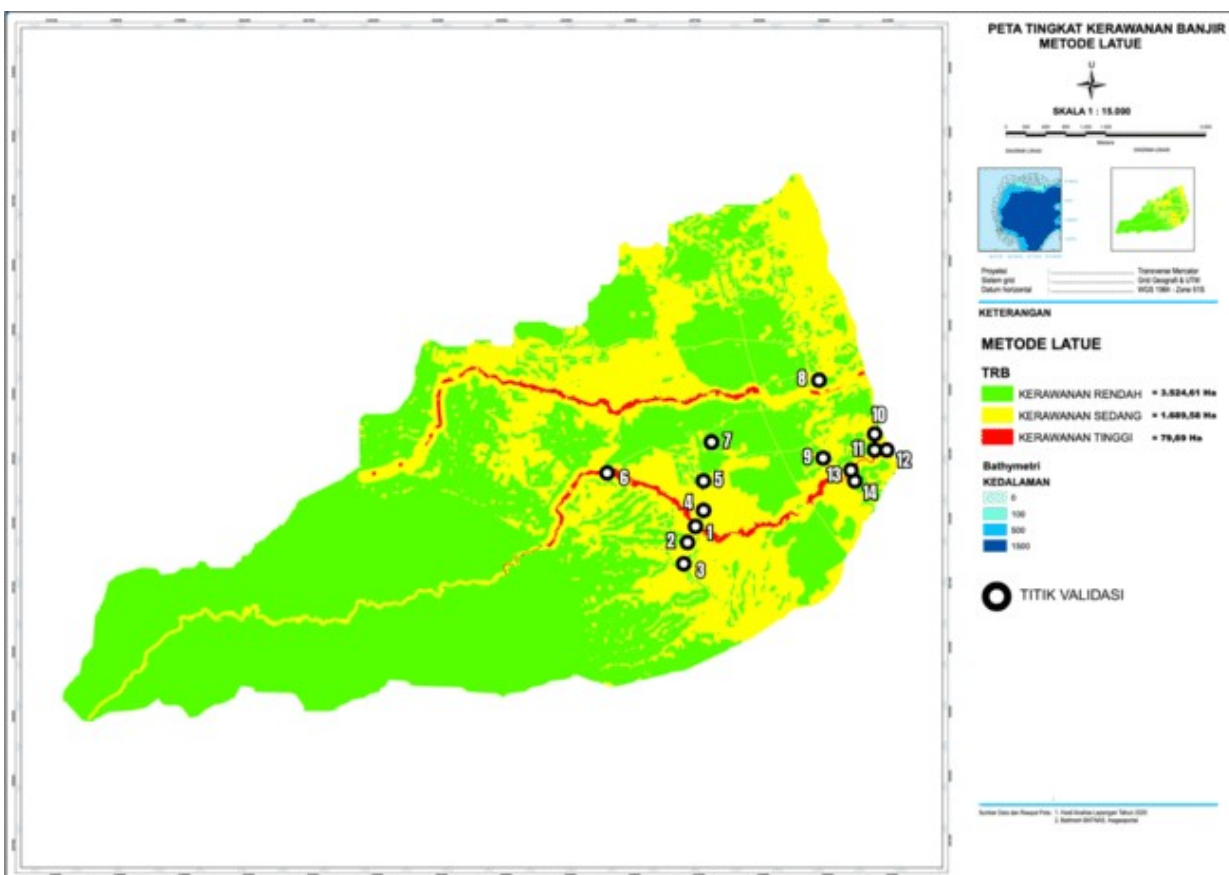
Gambar 11. Peta tingkat kerawanan banjir



Gambar 12. Sebaran Titik Validasi di Lapangan



Gambar 13. Sebaran titik validasi Metode Hamdani



Gambar 14. Sebaran titik validasi Metode Latue

Tabel 12. Hasil validasi lapangan

Nomor Titik Validasi	Validasi Lapangan		Tinggi Banjir (CM)	Metode Hamdani		Metode Latue	
	Titik Validasi	Jenis Lokasi		Tingkat Kerawanan	Sesuai (S)/ Tidak Sesuai (TS)	Tingkat Kerawanan	Sesuai (S)/ Tidak Sesuai (TS)
1	120.161435 -0.84933	Rumah	65	Rawan	TS	Kerawanan Sedang	TS
2	120.161329 -0.846957	Rumah	55	Rawan	TS	Kerawanan Sedang	TS
3	120.160477 -0.85672	Rumah	0	Paling Rawan	TS	Kerawanan Sedang	TS
4	120.161871 -0.846957	Rumah	50	Rawan	TS	Kerawanan Sedang	TS
5	120.162329 -0.8842897	Rumah	0	Rawan	TS	Kerawanan Rendah	S
6	120.149155 -0.840361	Rumah	0	Rawan	TS	Kerawanan Sedang	TS
7	120.162938 -0.837626	Stasiun Klimatologi Olaya	0	Paling Rawan	TS	Kerawanan Sedang	TS
8	120.177518 -0.82906	Rumah	45	Rawan	TS	Kerawanan Sedang	TS
9	120.180003 -0.839925	Rumah	70	Rawan	TS	Kerawanan Rendah	TS
10	120.185066 -0.835565	Rumah	80	Rawan	TS	Kerawanan Sedang	TS
11	120.186425 -0.8836225	Rumah	80	Rawan	TS	Kerawanan Sedang	TS
12	120.185584 -0.836303	Rumah	50	Rawan	TS	Kerawanan Sedang	TS
13	120.183344 -0.840889	Rumah	50	Rawan	TS	Kerawanan Rendah	TS
14	120.183326 -0.841375	Rumah	40	Paling Rawan	S	Kerawanan Rendah	TS

- 3) Pemberian skor pada klasifikasi parameter belum tepat, seperti pemberian skor pada parameter *buffer* sungai, dimana jarak 100 meter dari sungai masih diberi skor angka 2 sedangkan kenyataan di lapangan, jarak 100 meter dari sungai masih merupakan daerah yang sangat rawan banjir.
- 4) Pengklasifikasian dan pemberian skoring pada parameter yang berbeda, misalnya pada parameter penggunaan lahan, untuk metode Hamdani et al., variabel permukiman diberikan skor bernilai 4 sedangkan pada metode Latue & Latue diberikan skor bernilai 3. Dalam penelitian ini, dibandingkan dengan dua metode analisis kerawanan banjir, yaitu metode Hamdani [7] dan Latue [12], ditemukan beberapa ketidaksesuaian signifikan antara hasil model dan kenyataan di lapangan, yang menunjukkan adanya kekurangan dalam akurasi prediksi dan pentingnya pengembangan lebih lanjut dari kedua metode tersebut. Hamdani et al. menggunakan pendekatan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) yang mengandalkan tiga parameter utama, yaitu curah hujan, kemiringan lereng, dan penggunaan lahan. Meskipun sederhana, hasil yang diperoleh dari metode ini tidak cukup menggambarkan kerawanan banjir di lapangan, terutama di wilayah

dengan perubahan penggunaan lahan yang cepat. Penelitian sebelumnya oleh Hamdani [7] menunjukkan bahwa meskipun AHP memiliki kemampuan untuk menilai kerawanan, model ini dapat menyimpang oleh subjektivitas dalam memilih bobot, yang dapat mengarah pada ketidaktepatan prediksi, khususnya pada daerah dengan karakteristik fisik yang beragam dan dinamis.

Sebaliknya Latue [12], menggunakan *Spatial Multi-Criteria Evaluation* (SMCE) yang memperkenalkan lebih banyak parameter, seperti jenis tanah, elevasi, dan *buffer* sungai. Meskipun lebih komprehensif, hasil validasi lapangan dari model ini juga menunjukkan ketidaksesuaian dengan kejadian banjir yang sesungguhnya. Salah satu kendala utama adalah penggunaan skoring parameter yang belum sepenuhnya mencerminkan kondisi lapangan, seperti dalam penentuan jarak *buffer* sungai. Di mana daerah yang berada dalam jarak 100 meter dari sungai, yang seharusnya dikategorikan sebagai sangat rawan, masih diberikan bobot rendah dalam beberapa kasus.

Hasil validasi lapangan yang dilakukan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun kedua metode memiliki kelemahan, model yang dikembangkan oleh Latue [12]

lebih mendekati kondisi aktual kerawanan banjir dibandingkan metode Hamdani [7]. Hal ini terlihat dari kecocokan spasial antara wilayah yang diprediksi rawan oleh model Latue dan lokasi kejadian banjir yang teridentifikasi di lapangan. Meskipun masih terdapat ketidaksesuaian, seperti pada pemberian bobot buffer sungai, secara umum model Latue mampu mengidentifikasi pola sebaran kerawanan dengan lebih rinci dan menyeluruh, terutama di daerah dengan topografi kompleks dan penggunaan lahan yang beragam. Keunggulan ini kemungkinan besar disebabkan oleh jumlah parameter yang lebih banyak serta pendekatan SMCE yang lebih fleksibel dalam mengakomodasi kondisi geografis setempat. Dengan demikian, metode Latue dapat dijadikan dasar yang lebih kuat untuk pengembangan model kerawanan banjir yang lebih akurat di masa mendatang, dengan catatan bahwa penyesuaian lokal terhadap skoring dan bobot parameter tetap diperlukan. Hal ini sesuai dengan temuan oleh Wicaksono [23] yang menyatakan bahwa meskipun metode SMCE lebih komprehensif, model ini masih membutuhkan penyesuaian dalam skoring dan pemberian bobot untuk lebih mencerminkan keadaan di lapangan.

Selain itu, penelitian oleh Hidayah [24] menekankan pentingnya memasukkan faktor-faktor non-fisik, seperti pola urbanisasi dan perubahan penggunaan lahan yang masif, yang mempengaruhi kerawanan banjir. Faktor-faktor ini, meskipun tidak diperhitungkan secara mendalam dalam model yang digunakan dalam penelitian ini, sangat mempengaruhi hasil analisis kerawanan banjir. Oleh karena itu, perlu ada pendekatan yang lebih integratif yang menggabungkan parameter fisik dan non-fisik untuk meningkatkan akurasi model.

Di sisi lain, meskipun perkembangan metodologi yang signifikan dalam analisis kerawanan banjir, sebagian besar studi masih mengandalkan parameter-parameter yang tidak memperhitungkan faktor sosial dan ekonomi. Hal ini mengarah pada model yang kurang responsif terhadap perubahan dinamis dalam lingkungan sekitar, seperti yang terjadi di daerah aliran sungai dengan karakteristik sosial yang sangat berbeda. Penelitian lebih lanjut yang mengembangkan model berbasis analisis spasial temporal yang lebih dinamis dan memperhitungkan perubahan dalam pola curah hujan, penggunaan lahan, serta dampak perubahan iklim sangat diperlukan untuk meningkatkan akurasi model prediksi kerawanan banjir.

Sebagai contoh, Gahalod [25] menunjukkan bahwa integrasi machine learning dan big data untuk memperkaya parameter yang ada, seperti data curah hujan yang lebih granular, serta analisis perubahan iklim yang lebih mendalam, dapat memberikan hasil yang lebih akurat. Oleh karena itu, penggunaan teknik berbasis data dan algoritma pembelajaran mesin untuk mengoptimalkan pemodelan kerawanan banjir di masa depan memiliki potensi besar untuk meningkatkan ketepatan prediksi kerawanan banjir, serta membantu dalam perencanaan mitigasi bencana yang lebih efektif.

Validasi lapangan yang lebih menyeluruh juga sangat penting, seperti yang ditegaskan dalam penelitian oleh Wicaksono [23], yang menunjukkan bahwa tanpa validasi yang memadai, hasil analisis kerawanan banjir seringkali

tidak sesuai dengan kenyataan. Hal ini terutama berlaku di daerah-daerah yang memiliki karakteristik geografis yang sangat beragam. Oleh karena itu, mengintegrasikan teknologi *remote sensing* dan data geospasial yang lebih akurat dengan pendekatan berbasis lapangan akan sangat membantu dalam memperbaiki kesesuaian model dengan realitas di lapangan.

Secara keseluruhan, meskipun Hamdani et al. dan Latue & Latue memberikan kontribusi penting dalam pemetaan kerawanan banjir, terdapat kebutuhan mendesak untuk memperbaiki pendekatan tersebut dengan menggunakan model yang lebih kompleks dan berbasis data, serta memasukkan faktor-faktor eksternal yang mempengaruhi kerawanan banjir. Pengembangan metodologi yang lebih integratif dan berbasis teknologi akan sangat penting dalam menghasilkan model prediksi yang lebih akurat dan dapat diandalkan untuk perencanaan mitigasi bencana di masa depan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis yang dilakukan, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah:

- 1) Sebaran Tingkat Kerawanan Banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Olaya dengan metode Hamdani terbagi atas 4 kelas yaitu Paling Aman seluas 1.853,38 Ha, Terancam seluas 89,37 Ha, Rawan seluas 2.164,56 Ha dan Paling Rawan 1.183,25 Ha.
- 2) Sebaran Tingkat Kerawanan Banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Olaya dengan metode Latue terbagi atas 3 kelas yaitu Rendah seluas 3.524,61 Ha, Sedang seluas 1.689,58 Ha dan Tinggi seluas 79,69 Ha.
- 3) Hasil validasi menunjukkan bahwa kesesuaian analisis tingkat sebaran banjir dengan kondisi lapangan masih rendah. Dari 14 titik validasi yang diuji, metode Hamdani hanya menunjukkan kesesuaian pada 1 titik, sementara 13 titik tidak sesuai. Demikian pula, metode Latue hanya menunjukkan kesesuaian pada 1 titik, dengan 13 titik lainnya tidak sesuai. Tetapi yang paling mendekati kenyataan di lapangan adalah metode Latue. Hal ini mengindikasikan bahwa kinerja kedua metode tersebut dalam merepresentasikan kondisi sebaran banjir di lapangan perlu dievaluasi lebih lanjut atau mungkin memerlukan penyesuaian model.

Daftar Pustaka

- [1] Findayani, "Kesiap Siagaan Masyarakat Dalam Penanggulangan Banjir di Kota Semarang," *Jurnal Geografi*, vol. 12, no. 1, p. 45, 2015.
- [2] Rahayu and D. Suryanti, *Banjir dan Upaya Penanggulangannya*, Jakarta: Pelita, 2009.
- [3] Tim Penyusun, *Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana*, Jakarta: BNPB, 2017.
- [4] H.Y. Nugroho, I. Dewi Novita, and M.K. Sallata, *Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) & Konservasi Tanah & Air Menjaga Keseimbangan Air dan Tanah*, Yogyakarta: Penerbit Andi, 2022.

- [5] V.C. Tentua, E.J. Gaspersz, and F. Puturu, "Evaluasi Permukiman Berdasarkan Tingkat Kerawanan Banjir Pada Das Wae Ruhu", *Jurnal Budidaya Pertanian*, vol. 14, no. 2, p. 113, 2018.
- [6] M. Seprianto, M. Anggo, L. Harudu, and S. Aldiansyah, "Pemetaan Daerah Potensi Rawan Banjir Menggunakan Metode Overlay", *Jurnal Penelitian Pendidikan Geografi*, vol. 9, no. 4, p. 65, 2024.
- [7] H. Hamdani, S. Permana, and A. Susetyaningsih, "Analisa Daerah Rawan Banjir Menggunakan Aplikasi Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus Pulau Bangka)", *Jurnal Konstruksi STT Garut*, vol. 12, no. 1, p. 65, 2014.
- [8] P. Kusumo and E. Nursari, "Zonasi Tingkat Kerawanan Banjir dengan Sistem Informasi Geografis Pada DAS Cidurian Kab. Serang Banten", *Jurnal String*, vol. 1, no. 1, p. 88, 2016.
- [9] S.Y. Nifen, B.A. Kironoto, and D. Luknanto, "Kajian Karakteristik DAS Untuk Daerah Tangkapan Hujan Waduk Sermo Kabupaten Kulon Progo Daerah Istimewa Yogyakarta", *Jurnal UMM*, vol. 6, no. 5, p. 56, 2017.
- [10] J. Andrian and A. Haryati, "Pemetaan Potensi Rawan banjir Menggunakan Sistem Informasi Geografis di Kota Bandung", *Jurnal Spasial*, vol. 6, no. 4, p. 87, 2022.
- [11] M.A.S. Dhuha, A.H. Saputra, A. Kristianto, and A. Mulya, "Impact-Based Forecasting (IBF) untuk Mendukung Manajemen Risiko Banjir di Kawasan Jabodetabek", *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 22, no. 5, p. 1159, 2024.
- [12] T. Latue and P.C. Latue, "Pemodelan Spasial Daerah Rawan Banjir di DAS Batu Merah Ambon", *Jurnal Geografi, Ekologi dan Kebencanaan*, vol. 1, no. 1, p. 1, 2023.
- [13] R.Y. Tallar, *Dasar - Dasar Hidrologi Terapan*, Gorontalo: Ideas Publishing, 2013.
- [14] K. Darmawan, Hani'ah, and A. Suprayogi, "Analisis Tingkat Kerawanan Banjir Di Kabupaten Sampang Menggunakan Metode Overlay dengan Scoring Berbasis Sistem Informasi Geografis", *Jurnal Geodesi Undip*, vol. 6, no. 1, p. 31, 2017.
- [15] Sutikno, S. Dibysaoutra, and E. Haryono, *Geomorfologi Dasar*, Yogyakarta: Gajah Mada University Press, 2019.
- [16] R.M. Fauzi, J. Nugroho, and R. Herawatiningsih, "Analisa Perubahan Penutupan Lahan Pada Kawasan Hutan Lindung Gunung Naning Kabupaten Sekadau Propinsi Kalimantan Barat", *Jurnal Hutan Lestari*, vol. 4, no. 4, p. 520, 2016.
- [17] T.P.E. Pratama, "Analisis Index Overlay Untuk Pemetaan Kawasan Berpotensi Banjir di Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan", *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, vol. 1, no. 1, p. 52, 2020.
- [18] M. Andika, T. Putra, Y.S. Putra, and R. Adriat, "Analisis Tingkat Kerawanan Banjir Kabupaten Mempawah Provinsi Kalimantan Barat Menggunakan Metode Overlay Dengan Scoring Berbasis Sistem Informasi Geografis", *Jurnal Prisma Fisika*, vol. 9, no. 3, p. 234, 2021.
- [19] R.A. Suneth, J.O. Waani, and A.E. Tungka, "Respon Masyarakat Di Kawasan Permukiman Padat Menurut Tingkat Kerawanan Banjir di Kecamatan Wenang Kota Manado", *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, vol. 7, no. 3, p. 108, 2020.
- [20] K. Darmawan, Hani'ah, and A. Suprayogi, "Analisis Tingkat Kerawanan Banjir Di Kabupaten Sampang Menggunakan Metode Overlay Dengan Scoring Berbasis Sistem Informasi Geografis", *Jurnal Geodesi Undip*, vol. 6, no. 1, p. 31, 2017.
- [21] D. Kuswadi, "Evaluasi Degradasi Lahan Berdasarkan Identifikasi Perilaku Sungai dengan Pendekatan Geospasial di Sub Daerah Aliran Sungai Way Kandis", *Jurnal Ilmiah Teknik Pertanian*, vol. 7, p. 1, 2015.
- [22] H. Hamdani, S. Permana, and A. Susetyaningsih, "Analisa Daerah Rawan Banjir Menggunakan Aplikasi Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus Pulau Bangka)", *Jurnal Konstruksi STT Garut*, vol. 12, no. 1, p. 324, 2014.
- [23] A.D. Wicaksono, E. Hidayah, and R.U.A. Wiyono, "Flood Vulnerability Assessment of Kali Welang Floodplain by Using AHP-Based Methods", *UKaRsT*, vol. 5, no. 1, p. 80, 2021.
- [24] E. Hidayah, R.U.A. Wiyono, and A.D. Wicaksono, "Development of the flood vulnerability index using a multi-element approach", *Journal of Water and Land Development*, vol. 50, p. 255, 2021.
- [25] N.S.S. Gahalod, K. Rajeev, P.K. Pant, S. Binjola, R. L. Yadav, dan R.L. Meena, "Spatial assessment of flood vulnerability and waterlogging extent in agricultural lands using RS-GIS and AHP technique—a case study of Patan district Gujarat, India", *Environ Monit Assess*, vol. 196, no. 4, p. 1, 2024.

This page is intentionally left blank