



Analisis Spasial Perubahan Penggunaan Lahan dan Dampaknya terhadap Daerah Aliran Sungai (DAS) Desa Batumerah, Kecamatan. Sirimau Kota Ambon

Spatial Analysis of Land Use Changes and Their Impacts on the Watershed in Batu Merah Village, Sirimau District, Ambon City

Ayu Amelia Suryani¹, Mohammad A. Lasaiba^{1*}, Roberth Berty Riri¹

*Correspondence: lasaiba.dr@gmail.com

¹Program Studi Pendidikan Geografi FKIP Universitas Pattimura, Ambon

Abstrak

Perubahan penggunaan lahan di DAS Batu Merah Kota Ambon meningkat seiring ekspansi permukiman dan berpotensi mengurangi fungsi hidrologis DAS. Penelitian ini bertujuan menganalisis perubahan penggunaan lahan 2020–2024, dampaknya terhadap kondisi hidrologis DAS, persepsi masyarakat, serta arahan pengelolaan berkelanjutan. Penelitian ini menggunakan *mixed methods* dengan analisis citra Sentinel-2A melalui *Maximum Likelihood Classification*, analisis SIG, USLE, evaluasi kualitas air berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021, serta wawancara mendalam terhadap 18 informan. Hasil menunjukkan hutan lebat berkurang 68,40 ha, sedangkan permukiman padat bertambah 82,40 ha. Koefisien aliran meningkat 17,96%, bahaya banjir sangat tinggi meningkat 100,4%, dan erosi rata-rata meningkat 39,3%. Temuan ini menegaskan keterkaitan spasial perubahan lahan dengan degradasi DAS dan perlunya perlindungan kawasan hulu, penguatan sempadan sungai, penghijauan, serta pengelolaan DAS berbasis masyarakat yang partisipatif, adaptif, dan kolaboratif.

Kata kunci: perubahan penggunaan lahan; DAS; analisis spasial

Abstract

Land-use change in the Batu Merah Watershed, Ambon City, has increased alongside settlement expansion and has the potential to reduce the watershed's hydrological function. This study aims to analyze land-use changes during the 2020–2024 period, their impacts on watershed hydrological conditions, community perceptions, and directions for sustainable management. The study employed a mixed-methods approach using Sentinel-2A imagery analyzed through Maximum Likelihood Classification, Geographic Information System (GIS) analysis, the USLE method, water-quality assessment based on Government Regulation No. 22 of 2021, and in-depth interviews with 18 informants. The results showed that dense forest decreased by 68.40 ha, while dense settlements increased by 82.40 ha. The runoff coefficient increased by 17.96%, very-high flood hazard increased by 100.4%, and average erosion increased by 39.3%. These findings demonstrate the relationship between land-use change and declining watershed ecological function and emphasize the importance of protecting upstream areas, strengthening riverbank buffer zones, implementing reforestation, and promoting participatory, adaptive, and collaborative community-based watershed management.

Keywords: land-use change; watershed; spatial analysis

To cite this article

Suryani, A. A., Lasaiba, M. A., & Riri, R. B. (2026). Analisis spasial perubahan penggunaan lahan dan dampaknya terhadap Daerah Aliran Sungai (DAS) Desa Batumerah, Kec. Sirimau Kota Ambon. *SPATIA Educational Journal*. 1 (2), 197-215. <https://doi.org/10.67957/spatia.v1i2.197-215>



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

PENDAHULUAN

Perubahan penggunaan lahan merupakan fenomena penting dalam dinamika wilayah yang dipengaruhi pertumbuhan penduduk, urbanisasi, perkembangan ekonomi, dan peningkatan kebutuhan ruang. Transformasi lahan vegetasi, pertanian, dan ruang terbuka menjadi kawasan terbangun dapat mengubah karakteristik ekologis dan hidrologis suatu wilayah, terutama melalui berkurangnya kemampuan infiltrasi dan meningkatnya limpasan permukaan. Kajian mengenai respons hidrologis DAS di Indonesia menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan dapat memengaruhi keseimbangan air dan meningkatkan tekanan terhadap fungsi DAS (Hasibuan *et al.*, 2024). Perubahan penggunaan lahan juga berkaitan dengan kebutuhan pengaturan ruang dan infrastruktur pengendali air agar perkembangan wilayah tidak meningkatkan risiko degradasi lingkungan (Hidayat *et al.*, 2024). Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, kondisi tersebut menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan tidak cukup dipahami sebagai perubahan fisik permukaan bumi, tetapi perlu dianalisis sebagai proses yang berpengaruh terhadap interaksi antara manusia, lahan, air, dan ekosistem. Oleh sebab itu, pemantauan perubahan penggunaan lahan secara multitemporal menjadi penting sebagai dasar evaluasi kondisi lingkungan dan perumusan kebijakan pengelolaan wilayah yang mampu mempertahankan fungsi ekologis dan hidrologis DAS.

Perubahan penggunaan lahan semakin kompleks pada kawasan perkotaan karena ekspansi permukiman sering berlangsung pada ruang yang memiliki keterbatasan daya dukung. Peningkatan kawasan terbangun dapat mengurangi tutupan vegetasi, memperbesar permukaan kedap air, dan meningkatkan tekanan terhadap sistem drainase serta badan air. Penelitian mengenai perubahan penggunaan lahan dan erosi menunjukkan bahwa konversi lahan bervegetasi menjadi penggunaan yang lebih intensif dapat meningkatkan kehilangan tanah dan memperluas kawasan dengan tingkat bahaya erosi tertentu (Rafif *et al.*, 2024). Pada sisi lain, pemantauan perubahan penggunaan

lahan secara multitemporal dapat digunakan untuk mengidentifikasi kecenderungan perubahan dan mendukung strategi pengelolaan DAS yang lebih adaptif terhadap tekanan lingkungan (Pratama *et al.*, 2024). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pertumbuhan kawasan terbangun perlu diimbangi dengan perlindungan kawasan resapan, pengendalian pemanfaatan lahan, dan pemeliharaan vegetasi pada wilayah yang memiliki fungsi hidrologis penting. Pendekatan berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) menjadi relevan karena mampu memperlihatkan pola perubahan secara spasial sekaligus menghubungkannya dengan karakteristik fisik wilayah. Dengan demikian, analisis perubahan penggunaan lahan dapat menghasilkan informasi yang lebih operasional bagi pengendalian perkembangan kawasan perkotaan dan perlindungan DAS.

Kondisi tersebut memiliki relevansi yang kuat dengan Kota Ambon sebagai wilayah perkotaan kepulauan yang memiliki topografi kompleks dan tekanan perkembangan permukiman. Penelitian Lasaiba menunjukkan bahwa selama periode 2010–2020 terjadi perubahan penggunaan lahan di Kota Ambon, termasuk peningkatan permukiman dan perubahan pada wilayah dengan kemiringan lereng 15–30%. Perubahan tersebut juga berkaitan dengan konversi beberapa kawasan vegetasi dan perkembangan permukiman pada lokasi yang memiliki aksesibilitas tinggi (Lasaiba, 2023). Temuan tersebut diperkuat oleh penelitian (Rakuasa, Salakory and Latue, 2022a) yang menunjukkan bahwa tutupan permukiman dan lahan terbuka di DAS Wae Ruhu mengalami peningkatan, sedangkan beberapa kelas tutupan lahan lainnya mengalami penurunan. Dinamika tersebut memperlihatkan bahwa pertumbuhan perkotaan di Kota Ambon telah memberikan tekanan terhadap penggunaan lahan dan fungsi lingkungan. Dalam konteks wilayah kepulauan dengan ketersediaan lahan yang terbatas, perubahan tersebut perlu dikaji secara lebih terarah karena ekspansi permukiman dapat bergerak menuju kawasan perbukitan dan daerah yang memiliki fungsi penting dalam tata air. Oleh karena itu, pemahaman terhadap pola perubahan penggunaan lahan di Kota Ambon menjadi landasan penting untuk

mengidentifikasi konsekuensi lingkungan pada tingkat DAS.

Kecamatan Sirimau merupakan salah satu wilayah yang menunjukkan tekanan penggunaan lahan yang kuat akibat pertumbuhan penduduk dan perkembangan permukiman. Penelitian oleh (Lasaiba, 2024a) secara khusus menunjukkan bahwa pertumbuhan permukiman paling signifikan di Kecamatan Sirimau terjadi di Desa Batu Merah dan bahwa peningkatan tekanan penduduk serta perkembangan perkotaan berkontribusi terhadap penurunan daya dukung lahan permukiman. Penelitian tersebut merekomendasikan perencanaan ruang yang lebih hati-hati, perlindungan ruang hijau, dan pengembangan infrastruktur yang sesuai dengan kapasitas wilayah. Pada tingkat DAS, penelitian oleh (Rakuasa, Salakory and Latue, 2022a). mengenai DAS Wae Batu Merah menunjukkan bahwa tutupan permukiman meningkat dari 246,32 ha pada 2012 menjadi 283,46 ha pada 2022, sedangkan daerah pertanian menurun dari 235,81 ha menjadi 203,49 ha. Kondisi tersebut mengindikasikan adanya tekanan konversi lahan yang berlangsung secara nyata di kawasan Batu Merah. Selain perubahan luas penggunaan lahan, perkembangan kawasan terbangun pada wilayah DAS berpotensi meningkatkan limpasan, erosi, sedimentasi, dan risiko banjir. Dengan demikian, diperlukan analisis yang tidak hanya mengidentifikasi perubahan spasial, tetapi juga mengukur konsekuensi ekologis dan hidrologis dari perubahan tersebut.

Penelitian terdahulu telah memberikan landasan penting bagi pemahaman dinamika penggunaan lahan dan kondisi lingkungan di Kota Ambon dan wilayah lainnya (Lasaiba, 2023). menganalisis variasi spasial-temporal penggunaan lahan Kota Ambon menggunakan citra Landsat 8, sehingga memberikan gambaran mengenai ekspansi permukiman dan perubahan vegetasi pada periode 2010–2020. Lasaiba (2024) kemudian mempersempit kajian pada Kecamatan Sirimau dengan menganalisis daya dukung lahan dan pertumbuhan permukiman serta menemukan pertumbuhan paling signifikan di Desa Batu Merah. (Rakuasa, Salakory and Latue, 2022) menggunakan pendekatan Cellular

Automata–Markov Chain untuk memprediksi perubahan tutupan lahan DAS Wae Batu Merah dan menunjukkan kecenderungan peningkatan permukiman serta lahan terbuka. Sementara itu penelitian oleh (Latue and Rakuasa, 2023) mengembangkan pemodelan spasial daerah rawan banjir di DAS Batu Merah dengan mempertimbangkan berbagai faktor fisik dan penggunaan lahan. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan perkembangan kajian yang semakin kuat dalam penggunaan teknologi penginderaan jauh dan SIG untuk memahami perubahan ruang dan risiko lingkungan. Namun, sebagian besar kajian masih menempatkan perubahan tutupan lahan, daya dukung, prediksi perubahan, atau bahaya banjir sebagai fokus yang relatif berdiri sendiri.

Kajian mengenai perubahan penggunaan lahan juga telah berkembang pada aspek erosi dan kualitas lingkungan DAS. Penelitian oleh (Puspita Ningrum, Fajriyanto and Tridawati, 2025) menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan dapat digunakan untuk menjelaskan perubahan tingkat bahaya erosi melalui pendekatan RUSLE. Kajian lain oleh (Rafif *et al.*, 2024) memperlihatkan hubungan perubahan penggunaan lahan dengan tingkat erosi dan kekritisian lahan menggunakan pendekatan SIG. Sementara itu, penelitian oleh (Diyaurchman, Widjajani and Priyadarshini, 2023) *et al.* menunjukkan bahwa karakteristik penggunaan lahan di sekitar DAS berkaitan dengan variasi parameter kualitas air, termasuk BOD dan COD. Penelitian (Prayogo, Jumiati and Desmaiani, 2025) juga menunjukkan bahwa aktivitas permukiman, perkebunan, industri, dan pertambangan dapat menjadi tekanan terhadap kualitas badan air. Meskipun demikian, penelitian-penelitian tersebut umumnya dilakukan pada wilayah dan karakteristik DAS yang berbeda dari Batu Merah. Kajian oleh (Lasaiba, 2024a) memang telah mengidentifikasi pertumbuhan permukiman yang kuat di Batu Merah, tetapi fokus utamanya adalah daya dukung lahan dan pertumbuhan permukiman, bukan pengukuran konsekuensi hidrologis dan ekologis secara terpadu. Demikian pula, penelitian (Rakuasa, Salakory and Latue, 2022) telah memetakan dan memprediksi perubahan tutupan lahan

DAS Wae Batu Merah, tetapi belum mengintegrasikan perubahan tersebut dengan koefisien aliran permukaan, indeks bahaya banjir, laju erosi, kualitas air, serta persepsi masyarakat dalam satu kerangka analisis.

Berdasarkan perkembangan penelitian tersebut, pemahaman mengenai perubahan penggunaan lahan di Batu Merah masih memerlukan pengkajian yang lebih menyeluruh. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan adanya ekspansi permukiman dan perubahan tutupan lahan di DAS Wae Batu Merah, tetapi informasi tersebut belum secara simultan menjelaskan bagaimana perubahan 2020–2024 berkaitan dengan perubahan fungsi hidrologis, bahaya banjir, erosi, kualitas air, serta respons masyarakat. Selain itu, penelitian Lasaiba (2024) telah menunjukkan bahwa Batu Merah merupakan lokasi dengan pertumbuhan permukiman paling signifikan di Kecamatan Sirimau, tetapi belum diarahkan untuk mengukur konsekuensi perubahan tersebut terhadap kondisi DAS. Penelitian (Rakuasa, Salakory and Latue, 2022b) juga memberikan dasar mengenai dinamika tutupan lahan DAS Wae Batu Merah, tetapi menggunakan rentang waktu hingga 2022 dan berorientasi pada prediksi perubahan. Oleh karena itu, diperlukan pembaruan analisis dengan periode 2020–2024 yang menggabungkan pendekatan spasial dan lingkungan serta memasukkan dimensi sosial. Integrasi tersebut penting karena degradasi DAS tidak hanya dipengaruhi oleh perubahan biofisik, tetapi juga oleh pola pemanfaatan ruang, pengetahuan masyarakat, perilaku konservasi, dan pengelolaan kawasan. Pendekatan demikian memungkinkan hasil penelitian tidak berhenti pada identifikasi perubahan lahan, tetapi dapat menjelaskan konsekuensi dan faktor sosial yang menyertainya.

Penelitian ini mengembangkan pendekatan terpadu untuk menganalisis perubahan penggunaan lahan DAS Batu Merah dengan menghubungkan dinamika spasial dan konsekuensi lingkungan serta perspektif sosial masyarakat. Analisis dilakukan dengan membandingkan penggunaan lahan tahun 2020 dan 2024 menggunakan citra Sentinel-2A dan metode *Maximum Likelihood Classification*, kemudian menghubungkan perubahan

tersebut dengan koefisien aliran permukaan, indeks bahaya banjir, laju erosi menggunakan USLE, dan kualitas air. Pendekatan kuantitatif tersebut diperkaya melalui wawancara mendalam dengan masyarakat dan pemangku kepentingan sehingga kondisi biofisik dapat dipahami bersama dengan persepsi, pengalaman, dan faktor sosial yang berkaitan dengan perubahan DAS. Dengan kerangka tersebut, penelitian menghasilkan gambaran yang lebih utuh mengenai bagaimana ekspansi permukiman dan perubahan tutupan lahan berhubungan dengan perubahan fungsi DAS Batu Merah. Hasil analisis juga diarahkan untuk menghasilkan rekomendasi pengelolaan yang bersifat kontekstual melalui perlindungan kawasan hulu, pengendalian sempadan sungai, peningkatan vegetasi, pengendalian ekspansi permukiman, serta penguatan partisipasi masyarakat. Pendekatan ini diharapkan dapat menjadi dasar pengelolaan DAS perkotaan yang mempertimbangkan keterkaitan antara ruang, lingkungan, dan masyarakat.

Penelitian ini bertujuan menganalisis pola dan besaran perubahan penggunaan lahan di DAS Batu Merah Kota Ambon selama 2020–2024, mengidentifikasi dampaknya terhadap karakteristik hidrologis dan lingkungan, serta menganalisis persepsi masyarakat dan pemangku kepentingan terhadap perubahan kondisi DAS. Secara khusus, penelitian mengkaji perubahan penggunaan lahan berbasis citra Sentinel-2A, koefisien aliran permukaan, indeks bahaya banjir, laju erosi menggunakan USLE, kualitas air berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021, serta faktor sosial yang berkaitan dengan dinamika penggunaan lahan. Tujuan tersebut sesuai dengan rancangan penelitian yang menempatkan analisis spasial, kondisi hidrologis, kualitas lingkungan, dan persepsi masyarakat sebagai satu kesatuan kajian. Urgensi penelitian terletak pada semakin kuatnya tekanan permukiman di Batu Merah dan kebutuhan akan informasi ilmiah yang dapat digunakan untuk mengendalikan pemanfaatan ruang sebelum degradasi DAS semakin luas. Hasil penelitian diharapkan memberikan dasar empiris bagi Pemerintah Kota Ambon, masyarakat, dan pemangku kepentingan dalam menetapkan prioritas perlindungan kawasan hulu, mengendalikan

pembangunan pada area rentan, memperkuat konservasi tanah dan air, serta membangun pengelolaan DAS yang adaptif, partisipatif, dan berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *mixed methods* dengan mengintegrasikan analisis kuantitatif dan kualitatif untuk memperoleh gambaran komprehensif mengenai perubahan penggunaan lahan dan dampaknya terhadap DAS Batu Merah Kota Ambon. Wilayah penelitian memiliki luas sekitar 1.247 ha. Data utama yang digunakan meliputi citra Sentinel-2A tahun 2020 dan 2024, data curah hujan, jenis tanah, kemiringan lereng, jaringan sungai, serta data kualitas air.

Analisis perubahan penggunaan lahan dilakukan melalui klasifikasi *Maximum Likelihood Classification* (MLC). Tahapan pengolahan meliputi penyiapan data, pemotongan citra berdasarkan batas DAS, klasifikasi penggunaan lahan, dan perbandingan perubahan antarperiode. Besaran perubahan penggunaan lahan dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta A = A_{t2} - A_{t1}$$

Keterangan:

ΔA = perubahan luas penggunaan lahan (ha);
 A_{t2} = luas penggunaan lahan pada tahun akhir (ha); dan

A_{t1} = luas penggunaan lahan pada tahun awal (ha).

Persentase perubahan penggunaan lahan dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta A(\%) = \frac{A_{t2} - A_{t1}}{A_{t1}} \times 100$$

Keterangan:

$\Delta A(\%)$ = persentase perubahan luas penggunaan lahan;

A_{t2} = luas penggunaan lahan pada tahun akhir (ha); dan

A_{t1} = luas penggunaan lahan pada tahun awal (ha).

Keakuratan hasil klasifikasi penggunaan lahan diuji menggunakan *Overall Accuracy* (OA) dan Koefisien Kappa berdasarkan matriks kesalahan hasil klasifikasi dan data referensi. *Overall*

Accuracy dihitung menggunakan persamaan:

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ii}}{N} \times 100\%$$

Keterangan:

OA = *Overall Accuracy*;

x_{ii} = jumlah piksel yang diklasifikasikan secara benar; dan

N = jumlah seluruh sampel.

Koefisien Kappa dihitung menggunakan persamaan:

$$\kappa = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})}$$

Keterangan:

κ = Koefisien Kappa;

N = jumlah seluruh sampel;

x_{ii} = jumlah sampel pada diagonal utama;

x_{i+} = jumlah sampel pada baris ke- i ;

x_{+i} = jumlah sampel pada kolom ke- i ; dan

r = jumlah kelas penggunaan lahan.

Selanjutnya, perubahan penggunaan lahan dianalisis secara spasial untuk mengidentifikasi lokasi, pola, dan arah konversi lahan. Dampak perubahan penggunaan lahan terhadap kondisi hidrologis dianalisis melalui koefisien aliran permukaan. Nilai koefisien aliran tertimbang dihitung menggunakan persamaan:

$$C_w = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i A_i)}{A}$$

Keterangan:

C_w = koefisien aliran tertimbang;

C_i = koefisien aliran pada setiap kelas penggunaan lahan;

A_i = luas masing-masing kelas penggunaan lahan (ha); dan

A = luas total DAS (ha).

Analisis bahaya banjir dilakukan menggunakan pendekatan Sistem Informasi Geografis (SIG) melalui teknik *weighted overlay*. Parameter yang digunakan meliputi penggunaan lahan, kemiringan lereng, elevasi, jarak terhadap sungai, jenis tanah, dan curah hujan. Setiap parameter diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas dan diberikan skor berdasarkan tingkat pengaruhnya terhadap bahaya banjir. Nilai

indeks bahaya dihitung menggunakan persamaan:

$$IB = \sum_{i=1}^n (W_i \times S_i)$$

Keterangan:

IB= indeks bahaya banjir;

W_i = bobot masing-masing parameter;

S_i = skor masing-masing parameter; dan

n = jumlah parameter.

Hasil *weighted overlay* selanjutnya diklasifikasikan ke dalam lima tingkat bahaya, yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Analisis erosi dilakukan menggunakan metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE) dengan persamaan:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Keterangan:

A = estimasi kehilangan tanah

(ton/ha/tahun);

R = erosivitas hujan;

K = erodibilitas tanah;

LS = faktor panjang dan kemiringan lereng;

C = faktor tutupan dan pengelolaan lahan; dan

P = faktor tindakan konservasi tanah.

Analisis kualitas air dilakukan pada tiga stasiun pengamatan, yaitu bagian hulu, tengah, dan hilir DAS Batu Merah. Pengukuran dilakukan terhadap delapan parameter kualitas air yang digunakan dalam penelitian. Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan baku mutu berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021 Kelas II. Setiap parameter dianalisis berdasarkan kesesuaian atau ketidaksesuaian terhadap nilai baku mutu untuk mengidentifikasi perubahan kualitas air sepanjang DAS.

Analisis sosial dilakukan melalui wawancara mendalam terhadap 18 informan yang dipilih secara *purposive sampling*. Informan terdiri atas aparatur pemerintah desa/keurahan, pejabat lingkungan hidup, pejabat kebencanaan, tokoh masyarakat/adat, warga terdampak banjir, serta petani atau pengguna lahan. Data wawancara dianalisis melalui proses reduksi data, pengelompokan berdasarkan tema, penyajian data, dan penarikan kesimpulan

untuk mengidentifikasi persepsi masyarakat terhadap degradasi DAS, penyebab banjir, perilaku konservasi, serta harapan pengelolaan.

Tahap akhir dilakukan melalui integrasi hasil analisis kuantitatif dan kualitatif untuk memperoleh interpretasi menyeluruh mengenai hubungan perubahan penggunaan lahan dengan kondisi DAS Batu Merah. Hasil analisis spasial dibandingkan dengan perubahan koefisien aliran, distribusi bahaya banjir, tingkat erosi, dan kondisi kualitas air. Informasi tersebut kemudian dikaitkan dengan hasil wawancara untuk menjelaskan faktor sosial yang berhubungan dengan perubahan kondisi DAS dan pengelolaan penggunaan lahan. Validasi informasi sosial dilakukan melalui perbandingan keterangan antar kelompok informan dan pencocokannya dengan hasil analisis biofisik. Sintesis seluruh temuan digunakan sebagai dasar penyusunan arahan pengelolaan DAS yang mencakup perlindungan kawasan hulu, pengendalian pemanfaatan sempadan sungai, penghijauan, konservasi tanah dan air, serta penguatan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan DAS Batu Merah secara berkelanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perubahan Penggunaan Lahan DAS Batu Merah

Analisis perubahan penggunaan lahan DAS Batu Merah dilakukan dengan membandingkan kondisi penggunaan lahan tahun 2020 dan 2024 berdasarkan hasil klasifikasi citra Sentinel-2A. Hasil klasifikasi menghasilkan tujuh kelas penggunaan lahan, yaitu hutan lebat, hutan sekunder/semak, lahan pertanian/perkebunan, lahan terbuka, permukiman padat, permukiman jarang, dan badan air. Seluruh kelas tersebut dianalisis berdasarkan luas dalam satuan hektare dan persentase terhadap luas keseluruhan DAS. Luas wilayah yang dianalisis pada kedua tahun pengamatan mencapai 1.247,00 ha. Perbandingan dua periode tersebut digunakan untuk memperoleh besaran perubahan setiap kelas penggunaan lahan, baik berupa peningkatan maupun penurunan luas. Hasil klasifikasi juga menjadi dasar untuk mengetahui perubahan komposisi penggunaan lahan yang terjadi selama periode 2020–2024.

Sebelum digunakan dalam analisis perubahan, hasil klasifikasi citra diuji tingkat ketelitiannya menggunakan *Overall Accuracy* dan *Kappa Coefficient*. Pengujian dilakukan dengan 210 titik sampel pada masing-masing tahun pengamatan. Hasil klasifikasi tahun 2020 memperoleh nilai *Overall Accuracy* sebesar 88,57% dan *Kappa Coefficient* sebesar 0,862. Pada tahun 2024, nilai *Overall Accuracy* meningkat menjadi

91,43%, sedangkan *Kappa Coefficient* mencapai 0,893. Kedua hasil klasifikasi memenuhi standar akurasi yang digunakan dalam penelitian, yaitu *Overall Accuracy* minimal 85% dan *Kappa Coefficient* minimal 0,80. Berdasarkan hasil tersebut, klasifikasi tahun 2020 termasuk kategori baik dan klasifikasi tahun 2024 termasuk kategori sangat baik.

Tabel 1. Luas dan Perubahan Penggunaan Lahan DAS Batu Merah Tahun 2020–2024

Kelas penggunaan lahan	2020 (ha)	2020 (%)	2024 (ha)	2024 (%)	Perubahan (ha)	Perubahan (%)
Hutan lebat	256,00	20,53	187,60	15,04	-68,40	-26,7
Hutan sekunder/semak	231,10	18,53	198,70	15,93	-32,40	-14,0
Lahan pertanian/perkebunan	236,80	18,99	196,30	15,74	-40,50	-17,1
Lahan terbuka	82,40	6,61	112,40	9,02	+30,00	+36,4
Permukiman padat	296,50	23,78	378,90	30,38	+82,40	+27,8
Permukiman jarang	133,60	10,72	162,50	13,03	+28,90	+21,6
Badan air	10,60	0,85	10,60	0,85	0,00	0,0
Total	1.247,00	100,0	1.247,00	100,0	–	–
		0		0		

Sumber: Hasil Analisis *Maximum Likelihood Classification* dan *Change Detection* GIS, 2024.

Berdasarkan Tabel 1, pada tahun 2020 penggunaan lahan dengan luas terbesar adalah permukiman padat, yaitu 296,50 ha atau 23,78% dari total luas DAS. Hutan lebat menempati 256,00 ha atau 20,53%, sedangkan lahan pertanian/perkebunan mencapai 236,80 ha atau 18,99%. Hutan sekunder/semak memiliki luas 231,10 ha atau 18,53%. Selanjutnya, permukiman jarang memiliki luas 133,60 ha atau 10,72%, lahan terbuka 82,40 ha atau 6,61%, dan badan air 10,60 ha atau 0,85%. Komposisi tersebut menunjukkan bahwa pada tahun 2020 kawasan permukiman padat memiliki proporsi terbesar dibandingkan kelas penggunaan lahan lainnya, sedangkan badan air merupakan kelas dengan proporsi terkecil.

Pada tahun 2024, permukiman padat tetap menjadi kelas penggunaan lahan dengan luas terbesar dan meningkat menjadi 378,90 ha atau 30,38% dari luas DAS. Hutan sekunder/semak memiliki luas 198,70 ha atau 15,93%, sedangkan hutan lebat menjadi 187,60 ha atau 15,04%. Lahan

pertanian/perkebunan mengalami penurunan luas menjadi 196,30 ha atau 15,74%. Sementara itu, permukiman jarang meningkat menjadi 162,50 ha atau 13,03%, sedangkan lahan terbuka mencapai 112,40 ha atau 9,02%. Luas badan air tetap 10,60 ha atau 0,85%. Dengan demikian, pada tahun 2024 komposisi penggunaan lahan menunjukkan proporsi permukiman padat yang semakin besar, sementara proporsi hutan dan lahan pertanian/perkebunan lebih rendah dibandingkan tahun 2020.

Perubahan luas penggunaan lahan selama 2020–2024 memperlihatkan adanya kelas yang mengalami peningkatan dan kelas yang mengalami penurunan. Peningkatan terbesar terdapat pada permukiman padat, yaitu sebesar 82,40 ha atau 27,8%. Permukiman jarang meningkat sebesar 28,90 ha atau 21,6%, sedangkan lahan terbuka meningkat sebesar 30,00 ha atau 36,4%. Sebaliknya, hutan lebat mengalami penurunan terbesar, yaitu 68,40 ha atau 26,7%. Lahan pertanian/perkebunan berkurang sebesar 40,50 ha atau 17,1%,

sedangkan hutan sekunder/semak berkurang sebesar 32,40 ha atau 14,0%. Badan air tidak mengalami perubahan luas selama periode pengamatan, dengan luas tetap 10,60 ha.

Jika dilihat berdasarkan perubahan proporsi terhadap luas DAS, permukiman padat meningkat dari 23,78% pada tahun 2020 menjadi 30,38% pada tahun 2024. Permukiman jarang meningkat dari 10,72% menjadi 13,03%, sedangkan lahan terbuka meningkat dari 6,61% menjadi 9,02%. Sebaliknya, proporsi hutan lebat menurun dari 20,53% menjadi 15,04%, hutan sekunder/semak dari 18,53% menjadi 15,93%, dan lahan pertanian/perkebunan dari 18,99% menjadi 15,74%. Proporsi badan air tetap sebesar 0,85%. Perubahan tersebut memperlihatkan pergeseran komposisi luas penggunaan lahan selama periode pengamatan, dengan peningkatan proporsi pada kawasan permukiman dan lahan terbuka serta penurunan proporsi pada beberapa kelas tutupan vegetasi dan pertanian.

Hasil analisis perubahan juga menunjukkan bahwa konversi penggunaan lahan berlangsung dari beberapa kelas awal menuju kelas penggunaan lahan lainnya. Pada kelas hutan lebat, dari total perubahan sebesar 68,40 ha, sekitar 41,60 ha berubah menjadi permukiman padat, 13,70 ha menjadi permukiman jarang, dan 8,20 ha menjadi lahan terbuka. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa pengurangan luas hutan lebat tidak hanya terjadi melalui satu bentuk konversi, tetapi menuju beberapa penggunaan lahan yang berbeda. Perubahan pada kelas hutan sekunder/semak dan lahan pertanian/perkebunan juga terjadi selama periode pengamatan. Matriks perubahan penggunaan lahan menunjukkan adanya perpindahan luas dari kelas tutupan awal menuju kelas penggunaan lainnya dengan besaran yang berbeda-beda.

Secara keseluruhan, hasil klasifikasi dan analisis perubahan penggunaan lahan menunjukkan bahwa selama periode 2020–2024 terjadi pengurangan luas pada hutan lebat, hutan sekunder/semak, serta lahan pertanian/perkebunan, sedangkan lahan terbuka, permukiman padat, dan permukiman jarang mengalami peningkatan. Perubahan paling besar secara luas terjadi pada permukiman padat dengan peningkatan 82,40 ha, sedangkan

pengurangan terbesar terjadi pada hutan lebat sebesar 68,40 ha. Kelas badan air tidak mengalami perubahan luas. Komposisi penggunaan lahan pada tahun 2024 menunjukkan bahwa permukiman padat mencapai 30,38% dari total luas DAS, sementara tiga kelas yang mengalami penurunan luas—hutan lebat, hutan sekunder/semak, dan lahan pertanian/perkebunan—masing-masing memiliki proporsi 15,04%, 15,93%, dan 15,74%.

B. Perubahan Karakteristik Hidrologis DAS Batu Merah

Analisis karakteristik hidrologis DAS Batu Merah dilakukan untuk mengetahui perubahan koefisien aliran permukaan dan distribusi indeks bahaya banjir pada tahun 2020 dan 2024. Koefisien aliran permukaan dihitung berdasarkan luas setiap kelas penggunaan lahan dan nilai koefisien aliran masing-masing kelas. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai koefisien aliran agregat (*weighted runoff coefficient*) mengalami perubahan antara kedua periode pengamatan. Selain itu, analisis spasial bahaya banjir dilakukan dengan menggabungkan beberapa parameter fisik dan penggunaan lahan melalui metode *weighted overlay*. Hasil pengolahan menghasilkan lima kelas bahaya banjir, yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Kedua hasil tersebut digunakan untuk menggambarkan perubahan kondisi hidrologis DAS Batu Merah selama periode 2020–2024.

Hasil perhitungan koefisien aliran permukaan menunjukkan bahwa setiap kelas penggunaan lahan memiliki nilai koefisien yang berbeda. Hutan lebat memiliki nilai koefisien 0,10, hutan sekunder/semak 0,25, lahan pertanian 0,30, lahan terbuka 0,60, permukiman padat 0,80, permukiman jarang 0,60, dan badan air 1,00. Dengan menggunakan luas masing-masing kelas, jumlah hasil perkalian koefisien dengan luas lahan pada tahun 2020 mencapai 531,82, sedangkan pada tahun 2024 meningkat menjadi 605,99. Berdasarkan luas total DAS sebesar 1.247,00 ha, koefisien aliran agregat meningkat dari 0,412 pada tahun 2020 menjadi 0,486 pada tahun 2024. Nilai tersebut menunjukkan perubahan sebesar 0,074 atau 17,96%.

Tabel 2. Perubahan Koefisien Aliran Permukaan dan Indeks Bahaya Banjir DAS Batu Merah Tahun 2020–2024

Indikator	2020	2024	Perubahan	Perubahan (%)
Koefisien aliran agregat (Cw)	0,412	0,486	+0,074	+17,96
Bahaya banjir sangat rendah (ha)	196,20	142,30	-53,90	-27,5
Bahaya banjir rendah (ha)	278,65	196,40	-82,25	-29,5
Bahaya banjir sedang (ha)	390,30	312,30	-78,00	-20,0
Bahaya banjir tinggi (ha)	268,00	368,90	+100,90	+37,6
Bahaya banjir sangat tinggi (ha)	113,35	227,10	+113,75	+100,4
Total (ha)	1.247,00	1.247,00	–	–

Sumber: Hasil Analisis Koefisien Aliran dan *Weighted Overlay GIS*, 2024.

Berdasarkan Tabel 2, perubahan koefisien aliran agregat terjadi dari 0,412 pada tahun 2020 menjadi 0,486 pada tahun 2024. Nilai tersebut mengalami peningkatan sebesar 0,074 atau 17,96%. Pada tahun 2020, jumlah nilai tertimbang mencapai 531,82, sedangkan pada tahun 2024 meningkat menjadi 605,99. Perubahan tersebut terjadi bersamaan dengan perubahan luas beberapa kelas penggunaan lahan yang memiliki nilai koefisien aliran berbeda. Permukiman padat memiliki nilai koefisien 0,80 dengan luas 296,50 ha pada tahun 2020 dan meningkat menjadi 378,90 ha pada tahun 2024. Lahan terbuka dengan nilai koefisien 0,60 juga meningkat dari 82,40 ha menjadi 112,40 ha.

Kelas penggunaan lahan dengan nilai koefisien aliran rendah mengalami pengurangan luas selama periode pengamatan. Hutan lebat dengan nilai koefisien 0,10 berkurang dari 256,00 ha menjadi 187,60 ha. Hutan sekunder/semak dengan nilai koefisien 0,25 berkurang dari 231,10 ha menjadi 198,70 ha, sedangkan lahan pertanian dengan nilai koefisien 0,30 berkurang dari 236,80 ha menjadi 196,30 ha. Sebaliknya, permukiman padat bertambah 82,40 ha dan permukiman jarang bertambah 28,90 ha. Perubahan luas tersebut menghasilkan peningkatan jumlah dari 531,82 pada tahun 2020 menjadi 605,99 pada tahun 2024.

Hasil analisis spasial indeks bahaya banjir menunjukkan perubahan distribusi pada seluruh kelas bahaya. Pada tahun 2020, zona sangat rendah memiliki luas 196,20 ha atau 15,73%, zona rendah 278,65 ha atau 22,35%, dan zona sedang 390,30 ha atau 31,30%. Zona tinggi memiliki luas 268,00 ha, sedangkan zona sangat tinggi mencapai 113,35 ha. Pada tahun 2024, luas zona sangat rendah menurun menjadi 142,30 ha, zona

rendah menjadi 196,40 ha, dan zona sedang menjadi 312,30 ha. Sebaliknya, zona tinggi meningkat menjadi 368,90 ha dan zona sangat tinggi meningkat menjadi 227,10 ha.

Perubahan terbesar terdapat pada zona bahaya banjir sangat tinggi. Luas zona tersebut meningkat dari 113,35 ha pada tahun 2020 menjadi 227,10 ha pada tahun 2024, atau bertambah 113,75 ha dengan persentase peningkatan sebesar 100,4%. Zona bahaya tinggi juga meningkat sebesar 100,90 ha atau 37,6%, dari 268,00 ha menjadi 368,90 ha. Sebaliknya, zona sangat rendah berkurang 53,90 ha atau 27,5%, zona rendah berkurang 82,25 ha atau 29,5%, dan zona sedang berkurang 78,00 ha atau 20,0%. Dengan demikian, terdapat perubahan luas dari kelas bahaya rendah dan sedang menuju kelas bahaya tinggi dan sangat tinggi selama periode 2020–2024.

Jika dikelompokkan berdasarkan dua kategori bahaya tertinggi, yaitu tinggi dan sangat tinggi, luas kedua zona tersebut pada tahun 2020 mencapai 480,85 ha atau sekitar 38,57% dari total luas DAS. Pada tahun 2024, luasnya meningkat menjadi 596,00 ha atau 47,79%. Dengan demikian, terjadi peningkatan luas kawasan yang termasuk dalam kategori bahaya tinggi dan sangat tinggi sebesar 115,15 ha atau sekitar 9,22 poin persentase dari total luas DAS. Pada periode yang sama, tiga kelas bahaya yang lebih rendah—sangat rendah, rendah, dan sedang—mengalami penurunan luas secara keseluruhan.

C. Kondisi Kualitas Air DAS Batu Merah

Pengukuran kualitas air DAS Batu Merah dilakukan pada tiga stasiun pengamatan yang mewakili bagian hulu, tengah, dan hilir DAS. Stasiun I berada pada

bagian hulu di Wae Tomu, Stasiun II berada pada bagian tengah di Jembatan Batu Merah, sedangkan Stasiun III berada pada bagian hilir di Muara Teluk Ambon. Pengambilan sampel dilakukan pada dua periode, yaitu musim kemarau pada Agustus 2024 dan musim hujan pada Januari 2024. Analisis kualitas air mencakup delapan parameter, yaitu pH, *Total Suspended Solids* (TSS), BOD₅, COD, *Dissolved Oxygen* (DO), nitrat (NO₃), fosfat (PO₄), dan *Total Coliform*. Hasil pengukuran setiap parameter dibandingkan dengan baku mutu air Kelas II berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021.

Hasil pengukuran memperlihatkan adanya variasi nilai setiap parameter

berdasarkan lokasi dan periode pengambilan sampel. Parameter pH pada seluruh stasiun berada pada rentang 6,5–7,3, sedangkan nilai TSS berkisar antara 18,4–215,7 mg/L. Nilai BOD₅ berada pada kisaran 2,1–12,6 mg/L dan COD berkisar antara 8,5–48,5 mg/L. Nilai DO berada pada rentang 3,8–7,8 mg/L. Konsentrasi nitrat berkisar antara 1,2–14,2 mg/L, fosfat antara 0,08–0,52 mg/L, sedangkan *Total Coliform* berkisar antara 120 hingga 48.000 MPN/100 mL. Variasi tersebut menunjukkan adanya perbedaan kondisi kualitas air antarstasiun dan antara musim kemarau dengan musim hujan.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kualitas Air DAS Batu Merah dan Perbandingannya dengan Baku Mutu

Parameter	Satuan	St. I Kemarau	St. I Hujan	St. II Kemarau	St. II Hujan	St. III Kemarau	St. III Hujan	Baku Mutu Kelas II
pH	–	7,1	6,9	6,8	6,5	7,3	6,7	6,0– 9,0
TSS	mg/L	18,4	42,6	45,2	128,4 *	86,3*	215,7*	≤50
BOD ₅	mg/L	2,1	2,8	4,6	6,2*	8,4*	12,6*	≤6
COD	mg/L	8,5	11,2	18,7	24,3	32,6*	48,5*	≤25
DO	mg/L	7,8	7,2	6,1	5,4*	4,2*	3,8*	≥6
Nitrat (NO ₃)	mg/L	1,2	2,4	4,8	7,6	8,9	14,2*	≤10
Fosfat (PO ₄)	mg/L	0,08	0,12	0,18	0,32*	0,38*	0,52*	≤0,2
Total Coliform	MPN/1 00 mL	120	280	1.840*	4.600 *	24.000*	48.00 0*	≤1.00 0

Keterangan: * = melebihi baku mutu PP Nomor 22 Tahun 2021 Kelas II.

Sumber: Hasil Uji Laboratorium BLHD Kota Ambon, 2024.

Berdasarkan Tabel 3, nilai pH pada seluruh stasiun dan periode pengamatan berada dalam rentang baku mutu 6,0–9,0. Pada musim kemarau, pH tercatat sebesar 7,1 di Stasiun I, 6,8 di Stasiun II, dan 7,3 di Stasiun III. Pada musim hujan, nilai pH masing-masing menjadi 6,9, 6,5, dan 6,7. Dengan demikian, seluruh nilai pH pada keenam kondisi pengamatan berada dalam rentang baku mutu. Parameter TSS menunjukkan nilai terendah sebesar 18,4 mg/L di Stasiun I pada musim kemarau dan tertinggi sebesar 215,7 mg/L di Stasiun III pada musim hujan. Nilai TSS mulai melampaui baku mutu pada Stasiun II musim hujan sebesar 128,4 mg/L dan pada

kedua periode di Stasiun III sebesar 86,3 dan 215,7 mg/L.

Nilai BOD₅ menunjukkan peningkatan dari bagian hulu menuju hilir. Pada musim kemarau, nilai BOD₅ masing-masing sebesar 2,1 mg/L di Stasiun I, 4,6 mg/L di Stasiun II, dan 8,4 mg/L di Stasiun III. Pada musim hujan, nilai tersebut menjadi 2,8 mg/L, 6,2 mg/L, dan 12,6 mg/L. Baku mutu BOD₅ sebesar ≤6 mg/L, sehingga nilai pada Stasiun II musim hujan dan Stasiun III pada kedua musim berada di atas batas tersebut. Parameter COD juga menunjukkan nilai yang lebih tinggi pada bagian hilir. Nilai COD musim kemarau sebesar 8,5 mg/L, 18,7 mg/L, dan 32,6 mg/L masing-masing untuk Stasiun I, II, dan III. Pada musim hujan

nilainya menjadi 11,2 mg/L, 24,3 mg/L, dan 48,5 mg/L. Baku mutu COD sebesar 25 mg/L. Berdasarkan nilai tersebut, COD yang melampaui baku mutu terdapat pada Stasiun III pada kedua periode pengamatan.

Parameter DO memperlihatkan perubahan nilai yang berlawanan dengan beberapa parameter pencemar. Pada musim kemarau, DO sebesar 7,8 mg/L di Stasiun I, 6,1 mg/L di Stasiun II, dan 4,2 mg/L di Stasiun III. Pada musim hujan, nilai DO masing-masing sebesar 7,2 mg/L, 5,4 mg/L, dan 3,8 mg/L. Baku mutu DO adalah ≥ 6 mg/L. Berdasarkan nilai tersebut, Stasiun I memenuhi baku mutu pada kedua periode, Stasiun II memenuhi baku mutu pada musim kemarau tetapi berada di bawah batas pada musim hujan, sedangkan Stasiun III berada di bawah baku mutu pada kedua periode. Konsentrasi nitrat menunjukkan nilai 1,2–8,9 mg/L pada musim kemarau dan 2,4–14,2 mg/L pada musim hujan. Baku mutu nitrat sebesar ≤ 10 mg/L. Nilai tertinggi yang melampaui baku mutu terdapat di Stasiun III pada musim hujan, yaitu 14,2 mg/L.”

Konsentrasi fosfat juga menunjukkan peningkatan nilai dari Stasiun I menuju Stasiun III. Pada musim kemarau, konsentrasi fosfat tercatat sebesar 0,08 mg/L di Stasiun I, 0,18 mg/L di Stasiun II, dan 0,38 mg/L di Stasiun III. Pada musim hujan, nilainya meningkat menjadi 0,12 mg/L, 0,32 mg/L, dan 0,52 mg/L. Dengan baku mutu $\leq 0,2$ mg/L, pelampauan terjadi pada Stasiun II musim hujan serta Stasiun III pada musim kemarau dan hujan. Parameter *Total Coliform* menunjukkan perbedaan nilai yang paling besar antarstasiun. Pada musim kemarau, konsentrasi meningkat dari 120 MPN/100 mL di Stasiun I menjadi 1.840 MPN/100 mL di Stasiun II dan 24.000 MPN/100 mL di Stasiun III. Pada musim hujan, nilai tersebut masing-masing menjadi 280, 4.600, dan 48.000 MPN/100 mL. Baku mutu *Total Coliform* adalah ≤ 1.000 MPN/100 mL.

Berdasarkan keseluruhan parameter yang dianalisis, Stasiun I menunjukkan nilai yang masih berada dalam batas baku mutu pada seluruh parameter pada musim kemarau maupun musim hujan. Stasiun II mulai menunjukkan parameter yang melampaui baku mutu, terutama pada musim hujan, yaitu TSS, BOD₅, DO, fosfat, dan *Total Coliform*. Stasiun III menunjukkan

jumlah parameter yang melampaui baku mutu paling banyak. Pada musim kemarau, TSS, BOD₅, COD, DO, fosfat, dan *Total Coliform* berada di luar baku mutu, sedangkan nitrat masih berada di bawah batas. Pada musim hujan, TSS, BOD₅, COD, DO, nitrat, fosfat, dan *Total Coliform* melampaui baku mutu, sedangkan pH tetap berada dalam rentang yang dipersyaratkan.

D. Tingkat Bahaya Erosi DAS Batu Merah

Analisis tingkat bahaya erosi DAS Batu Merah dilakukan menggunakan metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE) untuk memperoleh estimasi kehilangan tanah pada tahun 2020 dan 2024. Perhitungan menggunakan lima faktor utama, yaitu erosivitas hujan (R), erodibilitas tanah (K), panjang dan kemiringan lereng (LS), pengelolaan tanaman atau tutupan lahan (C), serta tindakan konservasi tanah (P). Nilai faktor R diperoleh dari data curah hujan harian BMKG Stasiun Pattimura, sedangkan faktor K ditentukan berdasarkan jenis tanah. Faktor LS diperoleh dari data DEM SRTM dengan resolusi 30 meter. Faktor C ditentukan berdasarkan kelas penggunaan lahan, sedangkan faktor P ditentukan berdasarkan kondisi konservasi tanah pada masing-masing penggunaan lahan. Hasil perhitungan seluruh faktor tersebut digunakan untuk memperoleh laju kehilangan tanah dan mengelompokkan wilayah DAS berdasarkan tingkat bahaya erosi.

Nilai faktor erosivitas hujan (R) yang digunakan dalam perhitungan sebesar 1.842,60 MJ.mm/ha.jam.tahun. Faktor erodibilitas tanah (K) memiliki kisaran 0,18–0,42 ton.ha.jam/ha.MJ.mm. Nilai K sebesar 0,18 terdapat pada tanah Latosol, 0,32 pada tanah Podsolik, dan 0,42 pada tanah Aluvial. Faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) memiliki kisaran nilai 0,40–18,62. Faktor pengelolaan tanaman (C) memiliki kisaran 0,001–1,000, sedangkan faktor tindakan konservasi (P) berada pada kisaran 0,80–1,00. Nilai P sebesar 0,80 digunakan pada lahan pertanian yang memiliki tindakan konservasi, sedangkan nilai 1,00 digunakan pada lahan lainnya yang tidak memiliki tindakan konservasi.

Tabel 4. Laju Erosi dan Tingkat Bahaya Erosi DAS Batu Merah Tahun 2020–2024

Tingkat bahaya erosi	Laju erosi rata-rata (ton/ha/tahun)	Luas 2020 (ha)	2020 (%)	Luas 2024 (ha)	2024 (%)	Perubahan (ha)	Perubahan (%)
Sangat rendah (<15)	7,2	452,40	36,28	386,30	30,98	-66,10	-14,6
Rendah (15–60)	38,6	310,25	24,88	284,20	22,79	-26,05	-8,4
Sedang (60–180)	104,5	232,10	18,61	298,60	23,95	+66,50	+28,7
Berat (180–480)	285,0	189,25	15,18	198,60	15,93	+9,35	+4,9
Sangat berat (>480)	612,0	63,00	5,05	79,30	6,36	+16,30	+25,9
Total	–	1.247,00	100,00	1.247,00	100,00	–	–
Laju erosi rata-rata DAS	89,4 → 124,5	–	–	–	–	+35,1	+39,3

Sumber: Hasil Analisis USLE, 2024. Klasifikasi tingkat bahaya erosi berdasarkan data penelitian.

Berdasarkan Tabel 4, pada tahun 2020 wilayah dengan tingkat bahaya erosi sangat rendah memiliki luas terbesar, yaitu 452,40 ha atau 36,28% dari total luas DAS. Tingkat bahaya erosi rendah memiliki luas 310,25 ha atau 24,88%, sedangkan tingkat sedang mencapai 232,10 ha atau 18,61%. Kategori berat memiliki luas 189,25 ha atau 15,18%, sementara kategori sangat berat memiliki luas 63,00 ha atau 5,05%. Dengan demikian, pada tahun 2020 seluruh wilayah DAS terbagi ke dalam lima tingkat bahaya erosi dengan luas yang berbeda. Kategori sangat rendah merupakan kelas dengan cakupan terluas, sedangkan kategori sangat berat merupakan kelas dengan cakupan paling kecil.

Pada tahun 2024, luas kategori sangat rendah menurun menjadi 386,30 ha atau 30,98% dari total wilayah. Kategori rendah juga mengalami penurunan menjadi 284,20 ha atau 22,79%. Sebaliknya, kategori sedang meningkat menjadi 298,60 ha atau 23,95%, kategori berat meningkat menjadi 198,60 ha atau 15,93%, dan kategori sangat berat meningkat menjadi 79,30 ha atau 6,36%. Perubahan tersebut menunjukkan

adanya pergeseran luas pada beberapa kelas tingkat bahaya erosi selama periode pengamatan. Kategori sedang menjadi kelas dengan peningkatan luas terbesar secara absolut, sedangkan kategori sangat berat tetap merupakan kelas dengan luas paling kecil pada tahun 2024.

Perubahan luas kategori sangat rendah selama periode 2020–2024 mencapai pengurangan sebesar 66,10 ha atau 14,6%. Kategori rendah juga berkurang sebesar 26,05 ha atau 8,4%. Pada sisi lainnya, kategori sedang bertambah sebesar 66,50 ha atau 28,7%. Kategori berat mengalami peningkatan sebesar 9,35 ha atau 4,9%, sedangkan kategori sangat berat bertambah sebesar 16,30 ha atau 25,9%. Berdasarkan perubahan tersebut, terdapat dua kelas yang mengalami pengurangan luas, yaitu kategori sangat rendah dan rendah, sedangkan tiga kelas lainnya mengalami peningkatan luas, yaitu kategori sedang, berat, dan sangat berat.

Laju erosi rata-rata DAS juga mengalami perubahan antara kedua tahun pengamatan. Pada tahun 2020, laju erosi rata-rata tercatat sebesar 89,4 ton/ha/tahun,

sedangkan pada tahun 2024 meningkat menjadi 124,5 ton/ha/tahun. Selisih laju erosi rata-rata mencapai 35,1 ton/ha/tahun, dengan persentase peningkatan sebesar 39,3%. Nilai rata-rata tersebut menunjukkan perubahan tingkat kehilangan tanah secara keseluruhan pada wilayah DAS selama periode pengamatan.

Berdasarkan nilai rata-rata setiap kelas, kategori sangat rendah memiliki laju erosi rata-rata sebesar 7,2 ton/ha/tahun. Kategori rendah memiliki rata-rata 38,6 ton/ha/tahun, kategori sedang 104,5 ton/ha/tahun, kategori berat 285,0 ton/ha/tahun, dan kategori sangat berat mencapai 612,0 ton/ha/tahun. Nilai tersebut menunjukkan perbedaan besaran laju erosi pada setiap kelas tingkat bahaya erosi. Kategori sangat berat memiliki nilai rata-rata laju erosi tertinggi, sedangkan kategori sangat rendah memiliki nilai rata-rata terendah.

Perubahan distribusi kelas tingkat bahaya erosi menunjukkan bahwa luas kawasan dengan kategori sangat rendah dan rendah secara bersama-sama menurun dari 762,65 ha pada tahun 2020 menjadi 670,50 ha pada tahun 2024. Sebaliknya, luas kawasan dengan kategori sedang, berat, dan sangat berat meningkat dari 484,35 ha pada tahun 2020 menjadi 576,50 ha pada tahun 2024. Perubahan tersebut menunjukkan bertambahnya luas wilayah yang berada pada tiga kategori erosi yang lebih tinggi. Kategori sedang mengalami peningkatan luas sebesar 66,50 ha, kategori berat sebesar 9,35 ha, dan kategori sangat berat sebesar 16,30 ha.

E. Faktor yang Berkaitan dengan Perubahan Penggunaan Lahan DAS Batu Merah

Analisis faktor yang berkaitan dengan perubahan penggunaan lahan dilakukan

dengan mengidentifikasi faktor demografis, aksesibilitas, ekonomi, kebijakan, dan kondisi fisik lahan. Hasil analisis menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan tidak hanya berkaitan dengan kondisi tutupan lahan, tetapi juga dengan perkembangan wilayah dan karakteristik lokasi. Faktor-faktor tersebut dianalisis berdasarkan hubungan antara karakteristik wilayah dengan perubahan penggunaan lahan selama periode pengamatan. Faktor demografis dianalisis melalui hubungan pertumbuhan penduduk dengan perkembangan permukiman, sedangkan faktor aksesibilitas dianalisis berdasarkan jarak terhadap jalan utama. Faktor ekonomi dan kebijakan diidentifikasi berdasarkan kondisi perkembangan wilayah dan arah pemanfaatan ruang. Sementara itu, faktor fisik dianalisis berdasarkan hubungan kemiringan lereng dengan kecenderungan perubahan penggunaan lahan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor demografis memiliki hubungan yang kuat dengan perkembangan permukiman di wilayah penelitian. Pertumbuhan penduduk Desa Batumerah tercatat sebesar 2,7% per tahun selama periode 2010–2024. Hubungan antara pertumbuhan penduduk dan ekspansi permukiman menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,89. Nilai tersebut menunjukkan bahwa variasi perkembangan permukiman dalam analisis memiliki hubungan yang kuat dengan pertumbuhan penduduk. Perubahan penggunaan lahan yang berkaitan dengan perkembangan permukiman tercermin dari peningkatan luas permukiman padat dan permukiman jarang selama periode 2020–2024. Permukiman padat meningkat sebesar 82,40 ha, sedangkan permukiman jarang meningkat sebesar 28,90 ha.

Tabel 5. Faktor yang Berkaitan dengan Perubahan Penggunaan Lahan DAS Batu Merah

Faktor	Indikator/hasil analisis	Nilai hasil	Keterangan hasil
Demografis	Pertumbuhan penduduk	2,7%/tahun	Pertumbuhan penduduk berkaitan dengan ekspansi permukiman
Demografis	Hubungan pertumbuhan penduduk dengan ekspansi permukiman	$R^2 = 0,89$	Hubungan kuat
Aksesibilitas	Jarak terhadap jalan utama	$p < 0,01$	Berpengaruh signifikan terhadap konversi lahan terbangun
Aksesibilitas	<i>Odds ratio</i> konversi lahan dekat jalan	3,74	Peluang konversi lebih tinggi pada area dekat jalan utama
Ekonomi	Pertumbuhan ekonomi Kota Ambon	5,8%/tahun	Berkaitan dengan peningkatan kebutuhan lahan aktivitas komersial
Kebijakan	RTRW Kota Ambon 2011–2031	—	Sebagian wilayah diarahkan sebagai kawasan pengembangan perkotaan
Fisik	Kemiringan lereng terhadap perubahan penggunaan lahan	$r = -0,76$	Hubungan negatif; area dengan lereng <15% lebih rentan mengalami konversi

Sumber: Hasil analisis faktor perubahan penggunaan lahan DAS Batu Merah, 2024.

Faktor aksesibilitas menunjukkan hubungan yang signifikan antara jarak terhadap jalan utama dan perubahan penggunaan lahan menjadi area terbangun. Hasil analisis menghasilkan nilai $p < 0,01$ dengan *odds ratio* sebesar 3,74. Nilai tersebut menunjukkan bahwa lokasi yang berada lebih dekat dengan jalan utama memiliki peluang konversi menjadi lahan terbangun sebesar 3,74 kali dibandingkan lokasi yang lebih jauh dalam model yang digunakan. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa jarak terhadap jaringan jalan menjadi salah satu indikator yang memiliki hubungan dengan pola perubahan penggunaan lahan.

Faktor ekonomi juga tercatat dalam hasil identifikasi faktor perubahan penggunaan lahan. Pertumbuhan ekonomi Kota Ambon selama periode 2010–2024 tercatat rata-rata sebesar 5,8% per tahun. Dalam hasil penelitian, kondisi tersebut dikaitkan dengan peningkatan kebutuhan lahan untuk aktivitas komersial. Perubahan kebutuhan ruang tersebut berlangsung bersamaan dengan perubahan penggunaan lahan yang terlihat pada peningkatan luas kawasan permukiman dan lahan terbangun. Selama periode 2020–2024, luas permukiman padat meningkat dari 296,50 ha menjadi 378,90 ha, sedangkan permukiman

jarang meningkat dari 133,60 ha menjadi 162,50 ha.

Faktor kebijakan ditunjukkan melalui arah pemanfaatan ruang berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Ambon Tahun 2011–2031. Hasil penelitian mencatat bahwa sebagian wilayah Desa Batumerah ditetapkan sebagai kawasan pengembangan perkotaan. Kondisi tersebut tercatat sebagai salah satu faktor yang berkaitan dengan perubahan penggunaan lahan selama periode penelitian. Penggunaan lahan yang mengalami peningkatan terutama terdapat pada kawasan permukiman, dengan luas permukiman padat meningkat sebesar 82,40 ha dan permukiman jarang meningkat sebesar 28,90 ha. Selain itu, lahan terbuka meningkat sebesar 30,00 ha selama periode 2020–2024.

Kondisi fisik lahan menunjukkan hubungan negatif antara kemiringan lereng dan perubahan penggunaan lahan dengan nilai korelasi sebesar $r = -0,76$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan lebih banyak ditemukan pada wilayah dengan kemiringan yang relatif rendah. Area dengan kemiringan kurang dari 15% tercatat sebagai wilayah yang lebih rentan mengalami konversi penggunaan lahan. Sebaliknya, semakin besar kemiringan lereng, kecenderungan perubahan

penggunaan lahan dalam hasil analisis semakin rendah. Faktor fisik tersebut menjadi salah satu indikator yang digunakan dalam mengidentifikasi distribusi perubahan penggunaan lahan di DAS Batu Merah.

Secara keseluruhan, hasil identifikasi menunjukkan lima kelompok faktor yang berkaitan dengan perubahan penggunaan lahan, yaitu demografis, aksesibilitas, ekonomi, kebijakan, dan fisik lahan. Faktor demografis memiliki nilai R^2 sebesar 0,89 dalam hubungan pertumbuhan penduduk dengan ekspansi permukiman. Faktor aksesibilitas memiliki nilai $p < 0,01$ dan *odds ratio* 3,74 untuk hubungan jarak jalan dengan konversi lahan terbangun. Faktor ekonomi ditunjukkan melalui pertumbuhan ekonomi rata-rata 5,8% per tahun, sedangkan faktor kebijakan berkaitan dengan arahan pengembangan perkotaan dalam RTRW Kota Ambon 2011–2031. Faktor fisik menunjukkan korelasi negatif sebesar $-0,76$ antara kemiringan lereng dan perubahan penggunaan lahan.

Pembahasan

Perubahan penggunaan lahan DAS Batu Merah selama 2020–2024 menunjukkan pergeseran struktur ruang yang semakin berorientasi pada kawasan terbangun. Penurunan hutan lebat sebesar 68,40 ha atau 26,7%, bersamaan dengan peningkatan permukiman padat sebesar 82,40 ha atau 27,8%, menunjukkan bahwa ekspansi permukiman merupakan proses dominan dalam transformasi penggunaan lahan. Matriks transisi memperlihatkan bahwa 41,60 ha atau 60,8% dari hutan lebat yang berkurang beralih menjadi permukiman padat. Pola tersebut menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan tidak berlangsung secara acak, tetapi mengikuti tekanan kebutuhan ruang perkotaan pada lokasi yang memiliki fungsi ekologis. Kondisi ini memperkuat temuan (Lasaiba, 2024) mengenai pertumbuhan permukiman yang signifikan di Desa Batu Merah dan kaitannya dengan keterbatasan daya dukung lahan. Dengan demikian, peningkatan kawasan terbangun di DAS Batu Merah dapat dipahami sebagai bentuk intensifikasi ruang yang secara bersamaan mengurangi proporsi tutupan vegetasi dan memperbesar tekanan terhadap fungsi ekologis DAS.

Perubahan komposisi penggunaan lahan tersebut memiliki konsekuensi langsung terhadap respons hidrologis DAS. Koefisien aliran agregat meningkat dari 0,412 pada 2020 menjadi 0,486 pada 2024 atau sebesar 17,96%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa proporsi curah hujan yang berpotensi menjadi limpasan permukaan semakin besar seiring meningkatnya penggunaan lahan dengan karakteristik aliran yang lebih tinggi. Permukiman padat bertambah 82,40 ha dengan koefisien aliran 0,80, sedangkan lahan terbuka bertambah 30,00 ha dengan koefisien 0,60. Pada saat yang sama, hutan lebat dengan koefisien 0,10 berkurang 68,40 ha. Pergeseran tersebut memperlihatkan perubahan keseimbangan antara permukaan yang relatif mampu menahan dan meresapkan air dengan permukaan yang menghasilkan limpasan lebih besar. Hasil ini searah dengan (Kelana *et al.*, 2024) yang menunjukkan bahwa perubahan tata guna lahan berkaitan dengan penurunan kemampuan resapan air. Dalam konteks Batu Merah, perubahan tersebut memperlihatkan bahwa ekspansi kawasan terbangun telah diikuti oleh perubahan respons hidrologis DAS yang terukur.

Peningkatan koefisien aliran selanjutnya tercermin pada perubahan distribusi bahaya banjir. Luas zona bahaya banjir sangat tinggi meningkat dari 113,35 ha pada 2020 menjadi 227,10 ha pada 2024 atau sebesar 100,4%, sedangkan zona bahaya tinggi meningkat dari 268,00 ha menjadi 368,90 ha. Secara kumulatif, kawasan dengan kategori bahaya tinggi dan sangat tinggi meningkat dari 38,57% menjadi 47,79% luas DAS. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan limpasan tidak hanya tercermin dalam nilai koefisien aliran, tetapi juga diikuti oleh perluasan ruang yang memiliki tingkat bahaya banjir lebih tinggi. (Saraswati, Asdak and Joy, 2025) menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan dan karakteristik DAS berkaitan dengan kejadian banjir, sedangkan (Rumata *et al.*, 2023) Rumata *et al.* menemukan bahwa perubahan lahan pada kawasan perkotaan dapat meningkatkan tekanan terhadap daerah resapan. Penelitian ini memperkuat temuan tersebut melalui bukti pada DAS Batu Merah bahwa peningkatan kawasan terbangun

berlangsung bersamaan dengan peningkatan koefisien aliran dan perluasan kelas bahaya banjir tinggi hingga sangat tinggi.

Dinamika tersebut juga memperlihatkan bahwa perubahan penggunaan lahan di DAS Batu Merah merupakan bagian dari kecenderungan urbanisasi yang lebih luas di Kota Ambon. (Rakuasa, Salakory and Latue, 2022) menunjukkan adanya peningkatan permukiman dan lahan terbuka di DAS Wae Batu Merah, sementara (Latue and Rakuasa, 2023) memperlihatkan dinamika peningkatan lahan terbangun dan perubahan tutupan lahan di Kota Ambon. Hasil penelitian ini memberikan gambaran temporal yang lebih spesifik dengan menunjukkan bahwa selama 2020–2024 permukiman padat bertambah 82,40 ha dan permukiman jarang bertambah 28,90 ha, sedangkan hutan lebat dan lahan pertanian/perkebunan mengalami penurunan. Kesamaan pola tersebut mengindikasikan bahwa kebutuhan ruang akibat perkembangan perkotaan merupakan tekanan yang konsisten terhadap struktur penggunaan lahan Ambon. Namun, penelitian ini memperluas pemahaman tersebut dengan tidak berhenti pada identifikasi perubahan spasial. Perubahan penggunaan lahan ditempatkan dalam keterkaitan dengan respons hidrologis, bahaya banjir, erosi, dan kualitas air, sehingga konsekuensi ekologis dari ekspansi kawasan terbangun dapat dibaca secara lebih komprehensif pada tingkat DAS.

Pada aspek erosi, perubahan penggunaan lahan menunjukkan kecenderungan peningkatan kehilangan tanah selama periode pengamatan. Laju erosi rata-rata meningkat dari 89,4 ton/ha/tahun pada 2020 menjadi 124,5 ton/ha/tahun pada 2024, atau meningkat sebesar 39,3%. Pada saat yang sama, luas kategori erosi sangat rendah berkurang 66,10 ha dan kategori rendah berkurang 26,05 ha, sedangkan kategori sedang bertambah 66,50 ha dan kategori sangat berat bertambah 16,30 ha. Pergeseran tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kehilangan tanah tidak hanya ditunjukkan oleh nilai rata-rata, tetapi juga oleh bertambahnya luas wilayah pada kelas erosi yang lebih tinggi. (Rafif *et al.*, 2024) menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan berkaitan dengan peningkatan erosi

dan tingkat kekritisan lahan melalui analisis SIG. Kesamaan tersebut memperlihatkan pentingnya mempertimbangkan perubahan tutupan lahan bersama faktor biofisik seperti kemiringan lereng dalam memahami distribusi erosi. Dalam penelitian Batu Merah, peningkatan lahan terbuka dan kawasan terbangun berlangsung bersamaan dengan penurunan tutupan vegetasi, sehingga kondisi tersebut memperkuat tekanan terhadap stabilitas permukaan tanah, terutama pada lokasi yang memiliki karakteristik fisik lebih rentan.

Kualitas air memperlihatkan pola perubahan yang berbeda menurut posisi spasial dalam DAS. Bagian hulu relatif memenuhi seluruh parameter baku mutu, sedangkan bagian tengah mulai menunjukkan pelampauan pada beberapa parameter dan bagian hilir memperlihatkan kondisi paling tertekan. Pada Stasiun III musim hujan, konsentrasi fosfat mencapai 0,52 mg/L dan Total Coliform mencapai 48.000 MPN/100 mL, sementara baku mutu masing-masing sebesar 0,2 mg/L dan 1.000 MPN/100 mL. Selain itu, peningkatan BOD₅, COD, TSS, dan penurunan DO pada bagian hilir menunjukkan adanya akumulasi tekanan kualitas air sepanjang aliran DAS. Pola spasial tersebut mengindikasikan bahwa kondisi hilir menerima akumulasi material dan aktivitas dari bagian DAS yang berada di atasnya. (2022) (Brontowiyono *et al.*, 2022) menunjukkan keterkaitan penggunaan lahan dengan kualitas air, sedangkan (Lestari, Sukamta and Sari, 2023) menekankan pentingnya pengendalian sumber pencemar dalam menjaga kualitas DAS. Dengan demikian, perubahan kualitas air Batu Merah memperlihatkan bahwa tekanan perubahan penggunaan lahan memiliki dimensi ekologis yang tidak hanya terlihat pada permukaan lahan, tetapi juga pada kondisi badan air.

Secara terpadu, hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan di DAS Batu Merah berkaitan dengan rangkaian perubahan lingkungan yang saling berhubungan. Ekspansi permukiman dan lahan terbuka berlangsung bersamaan dengan penurunan hutan dan lahan pertanian, kemudian diikuti peningkatan koefisien aliran, perluasan zona bahaya banjir, peningkatan laju erosi, serta memburuknya beberapa parameter kualitas

air pada bagian hilir. Faktor yang dianalisis juga menunjukkan bahwa perubahan tersebut berlangsung dalam konteks pertumbuhan penduduk sebesar 2,7% per tahun, kedekatan terhadap jaringan jalan, pertumbuhan ekonomi, arah kebijakan tata ruang, dan kondisi kemiringan lahan. Hubungan pertumbuhan penduduk dengan ekspansi permukiman menghasilkan R^2 sebesar 0,89, sedangkan lokasi yang lebih dekat dengan jalan utama memiliki *odds ratio* sebesar 3,74 dalam model yang digunakan. Temuan tersebut memperluas hasil (Lasaiba *et al.*, 2024) mengenai pentingnya keterbatasan fisik lahan dalam penentuan fungsi kawasan dan memperkuat Rakuasa *et al.* (Rakuasa, Salakory and Latue, 2022) mengenai pengaruh perkembangan wilayah terhadap dinamika tutupan lahan di Ambon. Nilai tambah penelitian ini terletak pada pengintegrasian dimensi spasial, hidrologis, ekologis, dan faktor pemicu dalam satu kerangka analisis DAS.

Implikasi pengelolaan yang muncul dari temuan tersebut adalah perlunya pendekatan yang menghubungkan pengendalian pemanfaatan ruang dengan konservasi tanah dan air. Peningkatan permukiman padat, koefisien aliran, bahaya banjir, dan laju erosi menunjukkan bahwa pengendalian perubahan penggunaan lahan tidak cukup hanya melalui pembatasan administratif, tetapi perlu diarahkan pada lokasi yang secara ekologis memiliki fungsi penting atau tingkat kerentanan tinggi. Perlindungan kawasan resapan, rehabilitasi tutupan vegetasi, pengendalian pembangunan pada wilayah rentan, serta penguatan pengelolaan sempadan sungai menjadi prioritas yang relevan dengan kondisi DAS Batu Merah. (Lasaiba, 2024) menekankan pentingnya perencanaan ruang yang mempertimbangkan daya dukung, perlindungan ruang hijau, dan kapasitas wilayah, sedangkan (Kelana *et al.*, 2024) menunjukkan pentingnya konservasi lahan dan air ketika kemampuan resapan mengalami tekanan. Oleh karena itu, hasil penelitian dapat digunakan sebagai dasar penentuan prioritas intervensi pada kawasan dengan konversi lahan tinggi, terutama wilayah hulu dan lokasi yang mengalami peningkatan bahaya banjir serta erosi. Pendekatan pengelolaan juga perlu melibatkan masyarakat dan pemangku

kepentingan agar pengendalian pemanfaatan ruang dapat berjalan secara berkelanjutan.

Penelitian ini memiliki keterbatasan yang perlu dipertimbangkan dalam membaca hasilnya. Analisis perubahan penggunaan lahan menggunakan dua titik waktu, yaitu 2020 dan 2024, sehingga belum menggambarkan dinamika perubahan pada setiap tahun dan kemungkinan adanya perubahan sementara di antara kedua periode tersebut. Pengukuran kualitas air juga dilakukan pada tiga stasiun dan dua kondisi musim sehingga variasi spasial dan temporal yang lebih luas belum sepenuhnya terwakili. Selain itu, estimasi kehilangan tanah menggunakan USLE menghasilkan nilai prediktif berdasarkan kombinasi faktor erosivitas hujan, erodibilitas tanah, panjang dan kemiringan lereng, tutupan lahan, serta tindakan konservasi, sehingga belum dapat menggantikan pengukuran sedimentasi aktual di lapangan. Penelitian selanjutnya perlu menggunakan deret waktu citra yang lebih panjang, meningkatkan frekuensi pengambilan sampel kualitas air, menambah lokasi pengamatan, melakukan pengukuran sedimentasi secara langsung, serta mengembangkan pemodelan spasial untuk memproyeksikan perubahan penggunaan lahan dan risiko hidrologis pada periode mendatang.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan DAS Batu Merah periode 2020–2024 berlangsung intensif melalui berkurangnya hutan lebat sebesar 68,40 ha dan meningkatnya permukiman padat sebesar 82,40 ha. Dinamika tersebut berkaitan dengan kenaikan koefisien aliran permukaan dari 0,412 menjadi 0,486, perluasan zona bahaya banjir sangat tinggi hingga 227,10 ha, serta peningkatan laju erosi rata-rata dari 89,4 menjadi 124,5 ton/ha/tahun. Degradasi kualitas air juga terlihat semakin kuat ke arah hilir, ditandai peningkatan fosfat dan Total Coliform yang melampaui baku mutu. Perubahan tersebut terutama didorong pertumbuhan penduduk, aksesibilitas, aktivitas ekonomi, kebijakan tata ruang, dan karakteristik fisik lahan. Temuan ini memperkuat kontribusi analisis spasial-terpadu dalam menjelaskan keterkaitan perubahan ruang dan fungsi DAS.

Implikasinya, pengendalian konversi lahan, perlindungan kawasan resapan, rehabilitasi vegetasi, dan penguatan pengawasan sempadan sungai perlu diprioritaskan.

DAFTAR PUSTAKA

- Brontowiyono, W. *et al.* (2022) "Land-use impact on water quality of the Opak Sub-Watershed, Yogyakarta, Indonesia," *Sustainability*, 14(7), p. 4346. Available at: <https://doi.org/10.3390/su14074346>.
- Diyaurrachman, D., Widjajani, B.W. and Priyadarshini, R. (2023) "Penilaian kualitas air pada berbagai penggunaan lahan di Subsub DAS Kali Guntung bagian hulu Jombang," *Plumula: Berkala Ilmiah Agroteknologi*, 11(2), pp. 132–140. Available at: <https://doi.org/10.33005/plumula.v11i2.203>.
- Hasibuan, M.A.S. *et al.* (2024) "Hydrological response to land use/land cover projection in Cisadane Watershed, Indonesia," *Journal of Propulsion Technology*, 45(3). Available at: <https://doi.org/10.52783/tjjpt.v45.i03.7784>.
- Hidayat, Y. *et al.* (2024) "Water balance prediction by simulating land use planning and water retention infrastructure in Upper Cisadane Sub-Watershed, West Java, Indonesia," *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 14(2), pp. 415–426. Available at: <https://doi.org/10.29244/jpsl.14.2.415>.
- Kelana, Y.A.P. *et al.* (2024) "Analisis kemampuan resapan air pada perubahan tata guna lahan di DAS Melawi Kabupaten Melawi," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(6), pp. 1594–1601. Available at: <https://doi.org/10.14710/jil.22.6.1594-1601>.
- Lasaiba, M.A. (2023) "Spatial-temporal variation of land use changes in Ambon City," *Rekayasa: Journal of Science and Technology*, 16(1), pp. 84–95. Available at: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v16i1.18799>.
- Lasaiba, M.A. *et al.* (2024) "Analisis kemampuan lahan pada satuan wilayah pengembangan di Kota Ambon," *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 11(1), pp. 69–79. Available at: <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2024.011.1.8>.
- Lasaiba, M.A. (2024a) "Spatial analysis of land carrying capacity and residential growth in Sirimau District, Maluku Province, Indonesia," *Jurnal Geografi: Geografi dan Pengajarannya*, 22(1), pp. 1–18. Available at: <https://doi.org/10.26740/jggp.v22n1.p1-18>.
- Lasaiba, M.A. (2024b) "The dynamics of land use change in metropolitan areas: The impact of urbanization and sustainable management strategies," *Jendela Pengetahuan*, 17(2), pp. 213–227. Available at: <https://doi.org/10.30598/jp17iss2pp213-227>.
- Latue, P.C. and Rakuasa, H. (2023) "Analisis spasial perubahan tutupan lahan di DAS Wae Batugantong, Kota Ambon," *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 10(1), pp. 149–155. Available at: <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.1.17>.
- Lestari, D.S., Sukamta, S. and Sari, Y.C. (2023) "Status kualitas air DAS Sanggai di Kabupaten Penajam Paser Utara dan perumusan strategi pencegahan serta pengendalian pencemaran air," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(4), pp. 914–932. Available at: <https://doi.org/10.14710/jil.21.4.914-932>.
- Pratama, A.A. *et al.* (2024) "Impact of monitoring land use changes to anticipate management of erosion rates in the Brantas Hulu Watershed," *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 21(3), pp. 825–837. Available at: <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v21i3.825-837>.
- Prayogo, H., Jumiati, J. and Desmaiani, H. (2025) "Analisis kualitas air Sub DAS Seminis akibat penggunaan lahan,"

- Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 13(1). Available at: <https://doi.org/10.26418/jtllb.v13i1.87181>.
- Puspita Ningrum, V.F., Fajriyanto, F. and Tridawati, A. (2025) "Analisis perubahan penggunaan lahan terhadap tingkat bahaya erosi menggunakan metode RUSLE di DAS Way Ratai, Kabupaten Pesawaran tahun 2019 dan 2023," *Datum: Journal of Geodesy and Geomatics*, 4(2), pp. 42–49. Available at: <https://doi.org/10.23960/datum.v4i2.6790>.
- Rafif, M.A. *et al.* (2024) "Effects of land use change on land erosion and land critical level using GIS in the Mayang Watershed," *Geosfera Indonesia*, 9(2), pp. 122–143. Available at: <https://doi.org/10.19184/geosi.v9i2.39670>.
- Rakuasa, H., Salakory, M. and Latue, P.C. (2022a) "Analisis dan prediksi perubahan tutupan lahan menggunakan model Cellular Automata-Markov Chain di DAS Wae Ruhu Kota Ambon," *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 9(2), pp. 285–295. Available at: <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2022.009.2.9>.
- Rakuasa, H., Salakory, M. and Latue, P.C. (2022b) "Prediksi perubahan tutupan lahan di DAS Wae Batu Merah, Kota Ambon menggunakan Cellular Automata Markov Chain," *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan*, 6(2), pp. 59–75. Available at: <https://doi.org/10.36813/jplb.6.2.59-75>.
- Rumata, N.A. *et al.* (2023) "Kajian pengaruh perubahan lahan terhadap bencana banjir di Kecamatan Manggala Kota Makassar," *Jurnal Environmental Science*, 6(1). Available at: <https://doi.org/10.35580/jes.v6i1.52056>.
- Saraswati, G.S., Asdak, C. and Joy, B. (2025) "Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS) Air Bengkulu dan perubahan penggunaan lahannya dalam kaitannya dengan kejadian banjir," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(4), pp. 915–922. Available at: <https://doi.org/10.14710/jil.23.4.915-922>.