Vol. 20 (2) 2026: 599-618
Jurnal Penelitian Kehutanan
https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/makila
Jurnal MAKILA

Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan dan Fragmentasi Lanskap terhadap Transformasi Hujan–Limpasan di DAS Ake Kobe

(Characteristics of Land Use Change Patterns Affecting Rainfall–Runoff Transformation in Ake Kobe Watershed)

Desman Pangidoan Napitupulu[1,2*], Ramli Hadun[1,3], Adnan Sofyan[4], Buhari Umasugi[4], Suratman Sudjud[5], Andy Kurniawan[3]

[1]Program Magister Ilmu Pertanian, Pascasarjana Universitas Khairun, Jl. Jusuf Abdulrahman, Kampus II Gambesi, Kota Ternate Selatan, Kota Ternate, Maluku Utara, 97719, Indonesia
[2]Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Ake Malamo, Jalan Kompleks Barito Pasifik, Kec. Kalumata Puncak, Kota Ternate Maluku Utara, 97718 Indonesia
[3]Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Khairun, Jl. Pertamina, Kampus II Unkhair Gambesi, Kecamatan Ternate Selatan, Kota Ternate, Provinsi Maluku Utara, 97719, Indonesia
[4]Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Khairun, Jl. Pertamina, Kampus II Unkhair Gambesi, Kecamatan Ternate Selatan, Kota Ternate, Provinsi Maluku Utara, 97719, Indonesia
[5]Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Khairun, Jl. Pertamina, Kampus II Unkhair Gambesi, Kecamatan Ternate Selatan, Kota Ternate, Provinsi Maluku Utara, 97719, Indonesia

Informasi Artikel:

Submitted	:	19 Januari 2026
Revised	:	21 Oktober 2026
Accepted	:	31 Oktober 2026
Published	:	05 November 2026

***Penulis Korespondensi:**

Desman Pangidoan Napitupulu
Program Magister Ilmu Pertanian, Pascasarjana Universitas Khairun, Jl. Jusuf Abdulrahman, Kampus II Gambesi, Kota Ternate Selatan, Kota Ternate, Maluku Utara, 97719, Indonesia
e-mail: dnapitupulu84@gmail.com
Telp: +62 821-8974-3521

Makila 20 (2) 2026: 599-618

DOI:
https://doi.org/10.30598/makila.v20i2.24461

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

Copyright ©2026 Author(s): Desman Pangidoan Napitupulu, Ramli Hadun, Adnan Sofyan, Buhari Umasugi, Suratman Sudjud, Andy Kurniawan

Journal homepage:
https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/makila
Journal e-mail: makilajournal@gmail.com
Research Article** · **Open Access

ABSTRACT

Land-use change and landscape fragmentation may alter rainfall–runoff responses in tropical watersheds, although their combined hydrological implications remain insufficiently characterised. This study assessed land-use transitions, landscape configuration, Curve Number (CN) patterns, and modelled surface runoff in the Ake Kobe Watershed, Indonesia, during 2020–2024. Sentinel-2 imagery was classified using Random Forest, land-use transitions were visualised through Sankey diagrams, and landscape metrics were calculated using FRAGSTATS. Spatial CN distributions were derived from land use and hydrological soil groups using GIS and HEC-GeoHMS. Surface runoff was estimated with the Soil Conservation Service–Curve Number method and CHIRPS rainfall data. Forest cover declined from 85.97% to 82.79%, while mining and bare land expanded. Landscape division increased from 0.2956 to 0.4429, and contagion declined from 84.3659 to 79.6620, indicating greater fragmentation and reduced spatial aggregation. Areas with CN values of 84–98 expanded from approximately 2% to 8%. Mean estimated runoff increased from 173.599 to 220.060 mm (26.8%), alongside increased rainfall. These findings demonstrate concurrent changes in land cover, landscape structure, and modelled runoff, without isolating their individual causal contributions. The integrated framework supports spatial prioritisation of watershed conservation, rehabilitation, and hydrological risk management in tropical catchments, particularly where forest conversion and extractive activities increasingly threaten ecosystem integrity.

KEYWORDS*: *Land-use change; Landscape fragmentation; Rainfall–runoff transformation; SCS Curve Number; Tropical watershed.

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

INTISARI

Perubahan penggunaan lahan dan fragmentasi lanskap berpotensi mengubah respons hujan–limpasan pada daerah aliran sungai (DAS) tropis, tetapi keterkaitan keduanya belum sepenuhnya terkuantifikasi. Penelitian ini mengevaluasi transisi penggunaan lahan, konfigurasi lanskap, distribusi Curve Number (CN), dan estimasi limpasan permukaan di DAS Ake Kobe selama 2020–2024. Citra Sentinel-2 diklasifikasikan menggunakan algoritma Random Forest, transisi penggunaan lahan divisualisasikan melalui diagram Sankey, dan metrik lanskap dihitung menggunakan FRAGSTATS. Distribusi CN ditentukan berdasarkan penggunaan lahan dan kelompok hidrologi tanah melalui analisis spasial menggunakan HEC-GeoHMS. Limpasan permukaan diestimasi menggunakan metode Soil Conservation Service–Curve Number dan data hujan CHIRPS. Tutupan hutan menurun dari 85,97% menjadi 82,79%, sedangkan lahan pertambangan dan tanah terbuka meluas. Indeks DIVISION meningkat dari 0,2956 menjadi 0,4429, sementara CONTAG menurun dari 84,3659 menjadi 79,6620, mengindikasikan peningkatan fragmentasi dan penurunan agregasi spasial. Proporsi wilayah dengan CN 84–98 meningkat dari sekitar 2% menjadi 8%. Rata-rata limpasan terestimasi meningkat dari 173,599 menjadi 220,060 mm (26,8%), bersamaan dengan peningkatan curah hujan. Temuan ini menunjukkan perubahan simultan tutupan lahan, struktur lanskap, dan limpasan terestimasi, tanpa memisahkan kontribusi kausal setiap faktor. Kerangka analisis terpadu ini mendukung penentuan prioritas konservasi, rehabilitasi, dan pengelolaan risiko hidrologis DAS tropis secara spasial, khususnya pada wilayah dengan tekanan konversi hutan dan ekspansi pertambangan yang meningkat.

KATA KUNCI: Perubahan penggunaan lahan; Fragmentasi lanskap; Transformasi hujan–limpasan; SCS Curve Number; Daerah aliran sungai tropis.

PENDAHULUAN

Daerah aliran sungai (DAS) merupakan sistem hidrologi terintegrasi yang mentransformasikan curah hujan menjadi limpasan melalui interaksi penggunaan lahan, karakteristik tanah, dan topografi. Perubahan penggunaan lahan, terutama penurunan tutupan vegetasi dan peningkatan permukaan kedap air, dapat mengurangi kapasitas infiltrasi dan retensi air sehingga meningkatkan limpasan permukaan dan debit puncak (Arsyad, 2010; Andiles, 2021). Konversi hutan menjadi lahan pertanian dan kawasan terbangun juga berpotensi meningkatkan limpasan, sementara perubahan konfigurasi dan fragmentasi lanskap dapat memengaruhi konektivitas spasial yang berkaitan dengan proses hidrologi (Wahyuni & Salimin, 2019; Bradshaw et al., 2007; Yong Wang et al., 2014; Tang Li et al., 2023). Meskipun demikian, penelitian mengenai

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

respons hidrologi akibat perubahan penggunaan lahan masih banyak berfokus pada perubahan luas dan komposisi penggunaan lahan, sedangkan keterkaitan antara transisi antarkelas, struktur dan konfigurasi lanskap, serta transformasi hujan–limpasan secara spasial masih belum banyak dikaji secara terpadu. Kesenjangan tersebut penting dikaji pada DAS tropis yang mengalami tekanan pemanfaatan lahan secara intensif.

DAS Ake Kobe merupakan salah satu DAS strategis di Provinsi Maluku Utara yang mengalami perkembangan aktivitas ekonomi dan pemanfaatan sumber daya lahan secara pesat. Perubahan penggunaan lahan di DAS ini ditandai oleh berkurangnya tutupan hutan dan meningkatnya penggunaan lahan antropogenik, seperti pertanian lahan kering campur, tanah terbuka, kawasan terbangun, dan pertambangan. Dinamika tersebut berpotensi mengubah struktur dan fragmentasi lanskap serta karakteristik hidrologi DAS. Dalam kerangka Soil Conservation Service–Curve Number (SCS-CN), perubahan penggunaan lahan dan karakteristik tanah dapat direpresentasikan melalui nilai Curve Number (CN), yang mencerminkan potensi pembentukan limpasan. Pendekatan berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) memungkinkan perubahan penggunaan lahan, metrik lanskap, distribusi CN, dan limpasan dianalisis secara spasial.

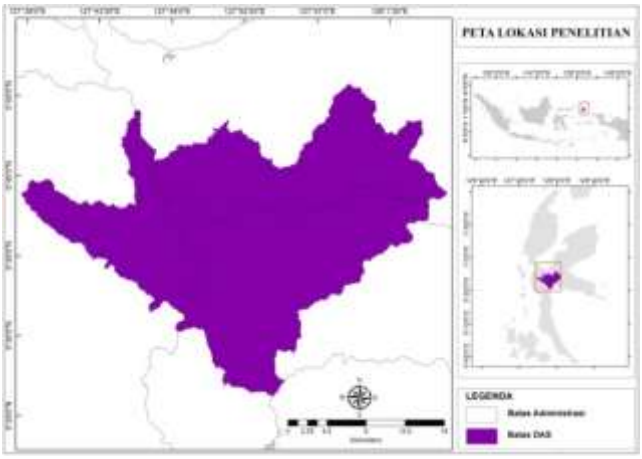
Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi analisis transisi penggunaan lahan berbasis diagram Sankey, metrik struktur dan konfigurasi lanskap, serta pemodelan CN dan limpasan berbasis spasial menggunakan metode SCS-CN untuk mengkaji transformasi hujan–limpasan akibat perubahan penggunaan lahan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pola dan arah perubahan penggunaan lahan di DAS Ake Kobe selama 2020–2024, mengevaluasi perubahan struktur dan konfigurasi lanskap, serta mengkuantifikasi implikasinya terhadap CN dan limpasan permukaan. Hasil penelitian diharapkan dapat mendukung pengelolaan DAS, perencanaan penggunaan lahan, dan mitigasi risiko hidrologi di DAS Ake Kobe.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Ake Kobe, Kabupaten Halmahera Tengah, dengan luas 77.779,19 ha yang secara geografis berada pada koordinat 0°26′10,159″–0°45′42,991″ LU serta 127°38′36,671″–128°5′3,702″ BT (**Gambar 1**). Penelitian dilaksanakan selama enam bulan, dari Mei hingga Oktober 2025.

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura



Gambar 1. Deskripsi Lokasi Penelitian

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi peta DAS Ake Kobe skala 1:50.000, peta penggunaan lahan, peta administrasi, peta tanah, peta kelas kelerengan, serta data curah hujan harian dari Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS). Alat yang digunakan meliputi GPS Garmin CSX 76, ArcGIS 10.4, FRAGSTATS 4.2, HEC-GeoHMS, Google Earth Engine, OriginLab 2025b, Google Colaboratory, Microsoft Excel.

Pengumpulan Data

Data yang digunakan meliputi penggunaan lahan, curah hujan, tekstur tanah, dan topografi. Data penggunaan lahan diperoleh dari citra Sentinel-2 Surface Reflectance yang diolah melalui Google Earth Engine. Data curah hujan harian bersumber dari Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS). Informasi tekstur tanah diperoleh dari OpenLandMap Soil Texture Class (USDA) yang dikombinasikan dengan survei lapangan dan analisis laboratorium, sedangkan data topografi diperoleh dari peta RBI dan Digital Elevation Model (DEM). Rincian data dan kegunaannya disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Jenis data, sumber, dan kegunaannya dalam analisis

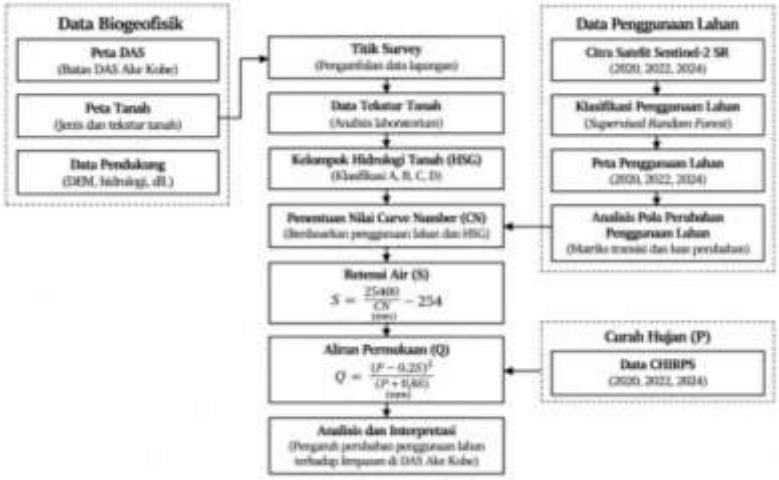
No	Jenis data	Cara pengumpulan	Untuk parameter
1	Curah Hujan	CHIRPS / Stasiun hujan terdekat	Tinggi limpasan (Q)
2	Tanah (tekstur tanah)	OpenLandMap_Soil_Texture_Class_USDA / Survei dan analisis lab	Kelompok hidrologi tanah
3	Penggunaan Lahan	Sentinel-2 Surface Reflectance (COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED) Google Earth Engine, 2025	Analisis fragmentasi lanskap/penggunaan lahan, Transformasi hujan-limpasan SCS CN
4	Topografi	Peta RBI atau topografi, radar, data DEM	Transformasi hujan-limpasan SCS CN
5	Lokasi	Peta DAS	

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara terstruktur melalui tahapan prapengolahan data, analisis spasial, dan pemodelan hidrologi (**Gambar 2**). Perubahan penggunaan lahan dianalisis

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

menggunakan klasifikasi terbimbing berbasis algoritma Random Forest pada citra Sentinel-2 Surface Reflectance melalui Google Earth Engine. Karakteristik perubahan pola dan fragmentasi lanskap dianalisis menggunakan metrik tingkat kelas dan lanskap dengan perangkat lunak FRAGSTATS untuk mengevaluasi struktur, konfigurasi, dan heterogenitas lanskap DAS Ake Kobe.



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

Perubahan penggunaan lahan

Analisis perubahan penggunaan lahan dilakukan menggunakan klasifikasi terbimbing (supervised classification) berbasis algoritma Random Forest pada citra Sentinel-2 Surface Reflectance. Tahapan analisis meliputi prapengolahan citra, penentuan sampel latih, proses klasifikasi, dan validasi akurasi. Prapengolahan dilakukan untuk memperoleh citra yang siap digunakan dalam klasifikasi, meliputi pemilihan citra dengan tutupan awan rendah, penyaringan awan, dan penyusunan komposit citra multitemporal. Selanjutnya, sampel latih ditentukan untuk setiap kelas penggunaan lahan berdasarkan interpretasi visual citra, informasi referensi, dan kondisi objek pada citra. Sampel tersebut digunakan untuk melatih algoritma Random Forest dalam mengidentifikasi dan mengklasifikasikan piksel ke dalam kelas penggunaan lahan yang telah ditetapkan. Hasil klasifikasi kemudian divalidasi menggunakan sampel uji yang independen dari sampel latih. Evaluasi akurasi dilakukan melalui confusion matrix (matriks kesalahan) untuk memperoleh Overall Accuracy (OA). Matriks kesalahan digunakan untuk mengidentifikasi kesalahan klasifikasi antar-kelas serta menilai tingkat ketepatan hasil klasifikasi secara keseluruhan. Hasil validasi selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menilai kelayakan peta penggunaan lahan sebelum dilakukan analisis perubahan dan transisi penggunaan lahan antar periode. Karakteristik perubahan pola dan fragmentasi lanskap dianalisis menggunakan metrik tingkat kelas dan lanskap dengan perangkat lunak FRAGSTATS untuk mengevaluasi dominasi kelas, tingkat fragmentasi, kompleksitas bentuk, dan heterogenitas lanskap DAS Ake Kobe. Metrik lanskap yang digunakan disajikan pada **Tabel 2**.

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Tabel 2. Metrik lanskap pada tingkat kelas dan tingkat lanskap dalam analisis perubahan pola penggunaan lahan

Metrik	**Deskripsi**
Metrik Tingkat Kelas	
Class Area (CA)	Luas total kelas penggunaan lahan tertentu dalam suatu lanskap. Metrik ini menunjukkan besarnya area yang ditempati oleh masing-masing kelas penggunaan lahan.
Edge Density (ED)	Total panjang tepi patch suatu kelas penggunaan lahan per satuan luas lanskap. Nilai ED yang lebih tinggi menunjukkan intensitas batas atau konfigurasi tepi yang lebih besar pada kelas tersebut
Percentage of Landscape (PLAND)	Persentase luas suatu kelas penggunaan lahan terhadap total luas lanskap. Metrik ini menggambarkan proporsi relatif masing-masing kelas dalam struktur lanskap
Number of Patches (NP)	Jumlah patch atau fragmen lanskap dari suatu kelas penggunaan lahan dalam keseluruhan lanskap. Nilai NP yang lebih tinggi menunjukkan jumlah fragmen yang lebih banyak dan dapat mengindikasikan tingkat fragmentasi yang lebih tinggi apabila tidak diikuti peningkatan luas kelas
Largest Patch Index (LPI)	Persentase luas patch terbesar dari suatu kelas penggunaan lahan terhadap total luas lanskap. Nilai LPI yang lebih tinggi menunjukkan keberadaan patch terbesar yang relatif dominan dalam struktur lanskap
Metrik Tingkat Lanskap	
Landscape Division Index (DIVISION)	Indeks yang menggambarkan derajat pemisahan atau fragmentasi lanskap berdasarkan probabilitas bahwa dua sel yang dipilih secara acak berada pada patch yang berbeda. Nilai yang lebih tinggi menunjukkan tingkat pemisahan patch yang semakin besar
Landscape Shape Index (LSI)	Indeks yang menggambarkan kompleksitas bentuk keseluruhan patch dalam lanskap berdasarkan perbandingan panjang tepi aktual dengan panjang tepi minimum yang mungkin. Nilai yang lebih tinggi menunjukkan bentuk patch yang semakin kompleks atau tidak teratur
Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)	Indeks yang mengukur tingkat ketersebaran atau keseragaman adjacencies (ketetanggaan) antar kelas penggunaan lahan. Nilai yang lebih tinggi menunjukkan distribusi batas antar kelas yang lebih merata di dalam lanskap
Contagion Index (CONTAG)	Indeks yang menggambarkan tingkat pengelompokan dan keterhubungan spasial patch dalam lanskap berdasarkan pola ketetanggaan antar sel. Nilai yang lebih tinggi menunjukkan kecenderungan patch membentuk kelompok yang lebih kompak dan terhubung, sedangkan nilai yang lebih rendah menunjukkan pola yang lebih tersebar dan terfragmentasi
Shannon's Diversity Index (SHDI)	Indeks yang menggambarkan keragaman kelas penggunaan lahan dalam suatu lanskap berdasarkan jumlah kelas dan proporsi luas masing-masing kelas. Nilai yang lebih tinggi menunjukkan keragaman penggunaan lahan yang lebih tinggi

Penentuan Curve Number (CN)

Penentuan nilai Curve Number (CN) dilakukan melalui analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) menggunakan HEC-GeoHMS pada ArcGIS. Proses diawali dengan delineasi DAS berbasis DEM, kemudian peta penggunaan lahan dioverlay dengan peta kelompok hidrologi tanah untuk membentuk unit analisis CN. Nilai CN ditentukan berdasarkan tabel standar metode Soil Conservation Service–Curve Number (SCS-CN) yang merepresentasikan kombinasi penggunaan lahan dan kemampuan infiltrasi tanah. Nilai CN referensi disajikan pada **Tabel 3**.

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Tabel 3. Nilai Curve Number (CN) pada beberapa penggunaan lahan

No.	Deskripsi penutupan lahan	Kelompok hidrologi tanah			
		A	B	C	D
1	Hutan dengan kondisi baik	25	55	70	77
2	Hutan dengan kondisi buruk	30	55	72	78
3	Padang rumput	36	60	73	78
4	Kawasan industri dan perparkiran kedap air	90	93	94	94
5	Kawasan permukiman	60	74	83	87
6	Lahan terbuka	72	82	88	90
7	Lahan pertanian tertutup tanaman	52	68	79	84
8	Lahan pertanian	64	75	83	87
9	Tubuh air	98	98	98	98

*(*Ragan dan Jackson, 1980; Slack dan Welch, 1980; Bondelid **et al**. 1982*)*

Estimasi Transformasi Hujan–Limpasan

Estimasi limpasan permukaan (Q) dilakukan menggunakan metode Soil Conservation Service–Curve Number (SCS-CN) dengan masukan data curah hujan harian dari CHIRPS. Metode ini digunakan untuk menduga limpasan permukaan berdasarkan hubungan antara curah hujan, potensi retensi maksimum tanah, dan nilai CN, sehingga memungkinkan evaluasi respons hidrologi DAS Ake Kobe terhadap perubahan penggunaan lahan.

Persamaan metode pendugaan volume limpasan (Q) dengan metode SCS, yaitu :

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

dimana :

Q = Tebal limpasan permukaan (mm)
P = Curah hujan (mm)
S = Potensi retensi air (infiltrasi) maksimum (mm)
CN = *Curve number* atau bilangan kurva

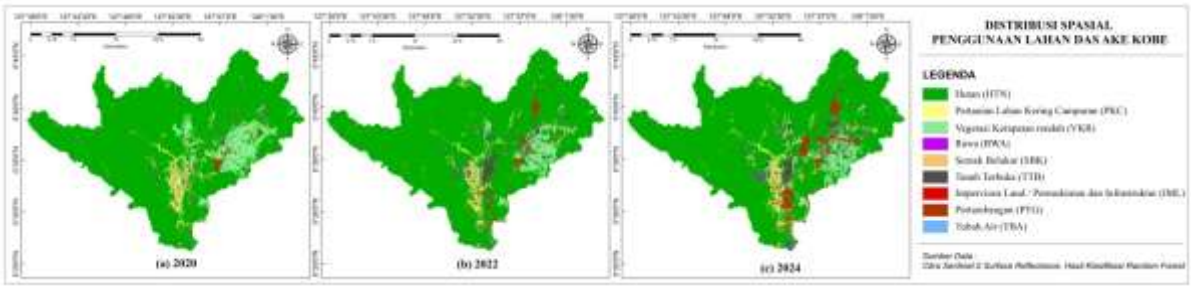
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Penggunaan Lahan dan Fragmentasi Penggunaan Lahan

Perubahan Penggunaan Lahan

Klasifikasi penggunaan lahan DAS Ake Kobe (77.779,19 ha) pada tahun 2020, 2022, dan 2024 berbasis citra Sentinel-2 Surface Reflectance menggunakan algoritma Random Forest menghasilkan sembilan kelas penggunaan lahan, yaitu hutan (HTN), pertanian lahan kering campuran (PKC), vegetasi kerapatan rendah (VKR), rawa (RWA), semak belukar (SBK), tanah terbuka (TTB), impervious land/permukiman dan infrastruktur (IML), pertambangan (PTG), serta tubuh air (TBA). Distribusi spasial penggunaan lahan setiap tahun ditampilkan pada **Gambar 3**, sedangkan luas dan persentase masing-masing kelas disajikan pada **Tabel 4.**

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura



Gambar 3. Distribusi Spasial Penggunaan Lahan DAS Ake Kobe

Tabel 4. Luas dan Persentase Penggunaan Lahan DAS Ake Kobe Tahun 2020, 2022, dan 2024

Penggunaan Lahan	2020		2022		2024	
	Luas (ha)	%	Luas (ha)	%	Luas (ha)	%
HTN	66868,05	85,97	67349,97	86,59	64391,2	82,79
PKC	1520,44	1,95	1625,63	2,09	1979,15	2,54
VKR	6189,11	7,96	3662,84	4,71	3981,38	5,12
RWA	97,25	0,13	307,92	0,4	404,39	0,52
SBK	1732,67	2,23	1303,09	1,68	1307,21	1,68
TTB	593,01	0,76	2225,28	2,86	2907,8	3,74
IML	234,95	0,3	404,72	0,52	578,42	0,74
PTG	355,24	0,46	715,65	0,92	2042,05	2,63
TBA	188,46	0,24	184,07	0,24	187,6	0,24
Total (ha)	77779,19	100	77779,19	100	77779,19	100

Sumber : Hasil analisis data penelitian (2025)

Secara spasial-temporal, HTN merupakan kelas penggunaan lahan dominan, tetapi mengalami penurunan sebesar 3,18% atau (±2.476,85 ha) selama periode penelitian. Luas HTN meningkat dari 85,97% pada 2020 menjadi 86,59% pada 2022, kemudian menurun menjadi 82,79% pada 2024. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan luas hutan pada periode awal bersifat sementara dan tidak berlanjut (**Tabel 4**).

Analisis perubahan berdasarkan matriks alih fungsi penggunaan lahan (**Tabel 5** dan **Tabel 6**) menunjukkan bahwa HTN menjadi sumber utama perubahan penggunaan lahan. Pada periode 2020–2022, konversi HTN terutama mengarah ke VKR dan TTB, yang menunjukkan tahap awal degradasi hutan akibat pembukaan lahan (**Tabel 5**). Pada periode 2022–2024, pola perubahan bergeser dengan meningkatnya konversi HTN menuju TTB dan PTG, yang mengindikasikan intensifikasi pemanfaatan lahan untuk aktivitas yang bersifat ekstraktif (**Tabel 6**). Secara proporsional, sekitar 20–25% kehilangan HTN dialihkan menjadi PTG dan 25–30% menjadi TTB, sehingga kedua kelas tersebut menjadi tujuan utama alih fungsi hutan.

Tabel 5 Matriks Transformasi Penggunaan Lahan DAS Ake Kobe Tahun 2020–2022

Penggunaan lahan	HTN	PKC	VKR	RWA	SBK	TTB	IML	PTG	TBA
HTN	64856,43	490,97	310,19	201,79	321,72	262,66	150,01	274,27	0
PKC	391,61	869,42	0,9	11,89	105,91	108,78	8,89	23,05	0
VKR	1430,5	66,12	3142,34	7,04	272,05	1147,47	44,71	78,89	0
RWA	8,26	0,98	0,08	86,67	1,25	0	0	0	0
SBK	496,3	180,05	124,79	0,61	570,51	322,2	22,74	15,46	0
TTB	89,15	12,46	43,83	0	12,28	369,17	10,45	55,66	0
IML	34,24	5,45	4,18	0	13,53	6,25	157,92	13,38	0
PTG	44,22	0	36,44	0	1,4	8,54	9,88	254,76	0

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

TBA	0	0	0	0	4,37	0	0	0	184,09

Keterangan: Baris menunjukkan kelas penggunaan lahan (2020), sedangkan kolom menunjukkan kelas penggunaan lahan (2022). Nilai matriks menunjukkan luas penggunaan lahan (ha).
Sumber : Hasil analisis data penelitian (2025)

Tabel 6. Matriks Transformasi Penggunaan Lahan DAS Ake Kobe Tahun 2022–2024

Penggunaan lahan	HTN	PKC	VKR	RWA	SBK	TTB	IML	PTG	TBA
HTN	62848,73	756,74	1081,75	224,46	385,41	885,84	208,5	958,53	0
PKC	322,24	1032,81	13,94	0,71	157,25	57,5	20,16	21,01	0
VKR	411,81	10,86	2457,41	0	83,08	545,13	22,44	132,1	0
RWA	98,83	6,46	1,56	178,55	1,47	0,6	10,48	9,96	0
SBK	354,93	92,33	80,18	0,49	628,03	92,9	32,29	17,71	4,25
TTB	291,35	75,04	309,96	0,17	38,29	1310,27	26,85	173,36	0
IML	56,27	4,67	13,5	0	10,47	9,21	252,11	58,49	0
PTG	7,04	0,23	23,07	0	3,21	5,62	5,58	670,89	0
TBA	0	0	0	0	0	0,73	0	0	183,35

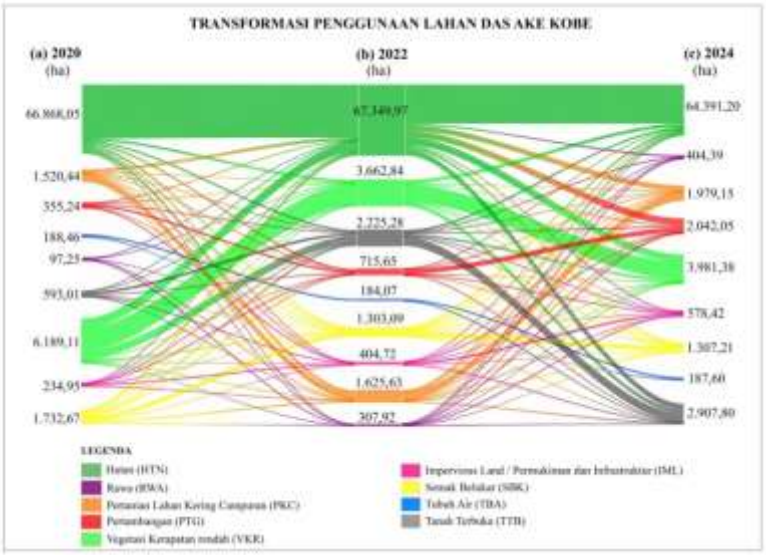
Keterangan: Baris menunjukkan kelas penggunaan lahan (2022), sedangkan kolom menunjukkan kelas penggunaan lahan (2024). Nilai matriks menunjukkan luas penggunaan lahan (ha).
Sumber : Hasil analisis data penelitian (2025)

Kelas vegetasi sekunder, yaitu VKR dan SBK, mengalami penurunan luas selama periode penelitian (**Tabel 4**). Matriks transformasi menunjukkan bahwa lebih dari 70% kehilangan VKR dan SBK dikonversi menjadi TTB dan PTG. Hal ini menunjukkan bahwa vegetasi sekunder berperan sebagai kelas transisi sebelum pemanfaatan lahan yang lebih intensif (**Tabel 5** dan **Tabel 6**). Meskipun VKR mengalami sedikit pemulihan pada 2024, arah transformasi dominan tetap menuju ke kelas non-vegetasi.

Sebaliknya, kelas non-vegetasi menunjukkan peningkatan luas yang konsisten. TTB meningkat hampir lima kali lipat, dari 0,76% pada 2020 menjadi 3,74% pada 2024. Lebih dari 50% penambahannya berasal dari konversi VKR dan SBK, sedangkan sisanya berasal dari HTN (**Tabel 4**; **Tabel 5**; **Tabel 6**). Kelas PTG meningkat lebih dari enam kali lipat, dengan sekitar 60% ekspansinya berasal dari konversi HTN dan sekitar 25% dari TTB. Pola tersebut menunjukkan proses perubahan bertahap dari pembukaan lahan menuju aktivitas pertambangan (**Tabel 6**). Kelas IML juga meningkat dari 0,30% menjadi 0,74%, terutama melalui konversi TTB dan HTN (**Tabel 5** dan **Tabel 6**).

Pola transformasi antar kelas penggunaan lahan yang semakin kompleks divisualisasikan secara kuantitatif dan spasial-temporal melalui diagram Sankey (**Gambar 4**). Visualisasi tersebut menunjukkan peningkatan aliran menuju kelas non-vegetasi pada periode 2022–2024 dibandingkan periode 2020–2022. Secara keseluruhan, hasil pada **Gambar 3**, **Gambar 4**, serta **Tabel 4–6** menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan di DAS Ake Kobe berlangsung secara terarah, dengan HTN dan VKR sebagai sumber utama alih fungsi menuju TTB, PTG, dan IML. Pola tersebut mengindikasikan meningkatnya tekanan antropogenik yang berpotensi memengaruhi fungsi hidrologi DAS melalui peningkatan limpasan permukaan, penurunan infiltrasi, dan degradasi kualitas lingkungan.

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura



Gambar 4. Transformasi antar kelas penggunaan lahan periode 2020, 2022, dan 2024 DAS Ake Kobe

Fragmentasi Penggunaan Lahan

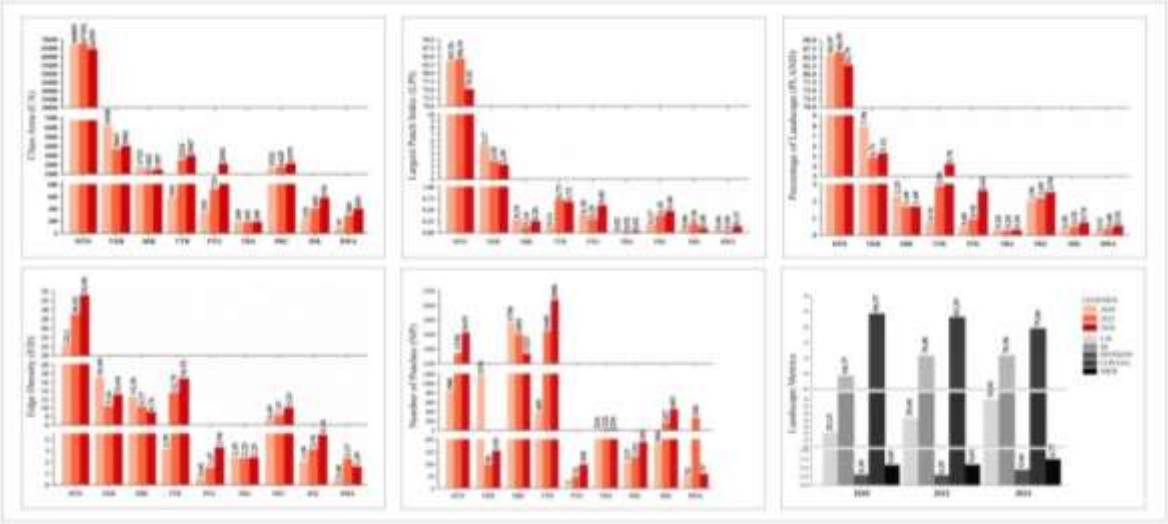
Metrik tingkat kelas dan tingkat lanskap yang dihitung menggunakan FRAGSTATS 4.2 digunakan untuk mengevaluasi perubahan struktur dan konfigurasi lanskap DAS Ake Kobe pada tahun 2020, 2022, dan 2024. Nilai kuantitatif metrik tingkat kelas dan tingkat lanskap disajikan pada **Tabel 7,** sedangkan dinamika masing-masing metrik ditampilkan pada **Gambar 5**.

Tabel 7. Metrik Tingkat Kelas DAS Ake Kobe Tahun 2020, 2022, dan 2024

Jenis	Tahun	CA	PLAND	NP	LPI	ED
HTN	2020	66868,05	85,9729	846	83,7608	22,1025
	2022	67349,97	86,5937	1330	84,3111	28,819
	2024	64391,2	82,7893	1619	74,422	32,8978
VKR	2020	6187,6	7,9553	1151	5,1747	16,4417
	2022	3662,84	4,7091	98	2,8176	9,1556
	2024	3981,38	5,1184	155	2,4453	12,6385
SBK	2020	1732,67	2,2275	1758	0,3129	12,3607
	2022	1303,09	1,6756	1601	0,1448	9,7712
	2024	1307,21	1,6807	1323	0,2629	8,7394
TTB	2020	593,01	0,7621	405	0,1092	2,9872
	2022	2225,28	2,8589	1640	0,7254	12,754
	2024	2907,8	3,7373	2080	0,7238	16,5165
PTG	2020	355,24	0,4566	3	0,3897	0,5953
	2022	715,65	0,9193	51	0,2929	1,468
	2024	2042,05	2,6245	100	0,5985	2,9429
TBA	2020	188,46	0,2429	214	0,0215	2,2505
	2022	184,07	0,2373	221	0,0214	2,2281
	2024	187,6	0,2418	216	0,0215	2,2458
PKC	2020	1520,44	1,9552	113	0,1676	6,4876
	2022	1625,63	2,0897	133	0,3548	7,5735
	2024	1979,15	2,5443	189	0,4618	9,2295
IML	2020	234,95	0,3025	184	0,0631	1,9933
	2022	404,72	0,5201	257	0,1643	2,9131
	2024	578,42	0,7435	443	0,08	4,1404
RWA	2020	97,25	0,125	52	0,0355	0,4839
	2022	307,92	0,3963	328	0,0407	2,1662
	2024	404,39	0,5201	57	0,1262	1,4854

Sumber : Hasil analisis data penelitian (2025)

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura



Gambar 5. Kurva Perubahan Karakteristik Metrik Tingkat Kelas dan Lanskap DAS Ake Kobe

Metrik Tingkat Kelas

Hasil analisis menunjukkan bahwa kelas HTN tetap mendominasi lanskap DAS Ake Kobe, tetapi struktur spasialnya semakin terfragmentasi. Luas HTN meningkat sementara pada 2022, kemudian menurun pada 2024. Peningkatan jumlah *patch* (NP) dari 846 menjadi 1.619 dan penurunan LPI dari 83,76% menjadi 74,42% menunjukkan berkurangnya dominasi *patch* hutan terbesar. Peningkatan ED dari 22,10 menjadi 32,90 juga menunjukkan bertambahnya kepadatan batas *patch*. Kombinasi perubahan tersebut mengindikasikan bahwa meskipun HTN masih mendominasi secara luas, struktur spasialnya semakin terpecah (**Tabel 7**).

Kelas VKR mengalami penurunan luas pada periode 2020–2022 dan hanya mengalami pemulihan sebagian pada 2024. Fluktuasi NP yang cukup besar, disertai nilai LPI yang tetap rendah (<5%), menunjukkan bahwa VKR tersusun atas *patch* berukuran relatif kecil tanpa *patch* dominan. Penurunan ED menunjukkan berkurangnya kepadatan batas *patch*, yang dapat berkaitan dengan perubahan konfigurasi spasial akibat alih fungsi menuju kelas non-vegetasi. Kelas SBK memiliki luas yang relatif stabil pada 2022–2024, tetapi dicirikan oleh NP yang tinggi dan LPI yang sangat rendah (<0,32%). Kondisi tersebut menunjukkan dominasi *patch* berukuran kecil dan pola yang terfragmentasi. Penurunan ED menunjukkan berkurangnya kepadatan tepi *patch*, tetapi tidak secara langsung menunjukkan peningkatan konektivitas sehingga SBK tetap memiliki struktur spasial yang terpecah. Sebaliknya, kelas TTB menunjukkan ekspansi paling cepat selama periode penelitian. Luas TTB meningkat hampir lima kali lipat, disertai lonjakan NP dan ED yang sangat tajam. Peningkatan LPI mengindikasikan mulai terbentuknya *patch* terbuka berukuran lebih besar. Pola ini mencerminkan pembukaan lahan yang masif dan bersifat spasial-ekstensif.

Kelas PTG juga mengalami peningkatan luas dan jumlah *patch*. Kenaikan NP dari 3 menjadi 100 serta peningkatan ED menunjukkan perkembangan area pertambangan yang semakin luas dan tersebar. Fluktuasi LPI yang cenderung meningkat mengindikasikan terbentuknya area

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

pertambangan dengan ukuran patch yang semakin besar pada lokasi tertentu (**Tabel 7**). Kelas PKC dan IML menunjukkan peningkatan luas yang relatif moderat, disertai kenaikan NP dan ED. Pola tersebut mengindikasikan ekspansi penggunaan lahan antropogenik yang berlangsung pada sejumlah lokasi dan meningkatkan kompleksitas batas antar *patch*. Kelas TBA relatif stabil, ditunjukkan oleh perubahan luas, NP, LPI, dan ED yang relatif kecil. Sementara itu, RWA mengalami peningkatan luas dengan dinamika NP yang berfluktuasi, yang menunjukkan adanya perubahan konfigurasi patch meskipun luas total kelas meningkat.

Metrik Tingkat Lanskap

Metrik tingkat lanskap digunakan untuk mengevaluasi perubahan struktur spasial DAS Ake Kobe secara keseluruhan, meliputi fragmentasi, kompleksitas bentuk, distribusi spasial, agregasi, dan keragaman kelas penggunaan lahan. Perubahan metrik tingkat lanskap pada tahun 2020, 2022, dan 2024 ditampilkan pada **Gambar 6**, sedangkan nilai kuantitatifnya disajikan pada **Tabel 8**.

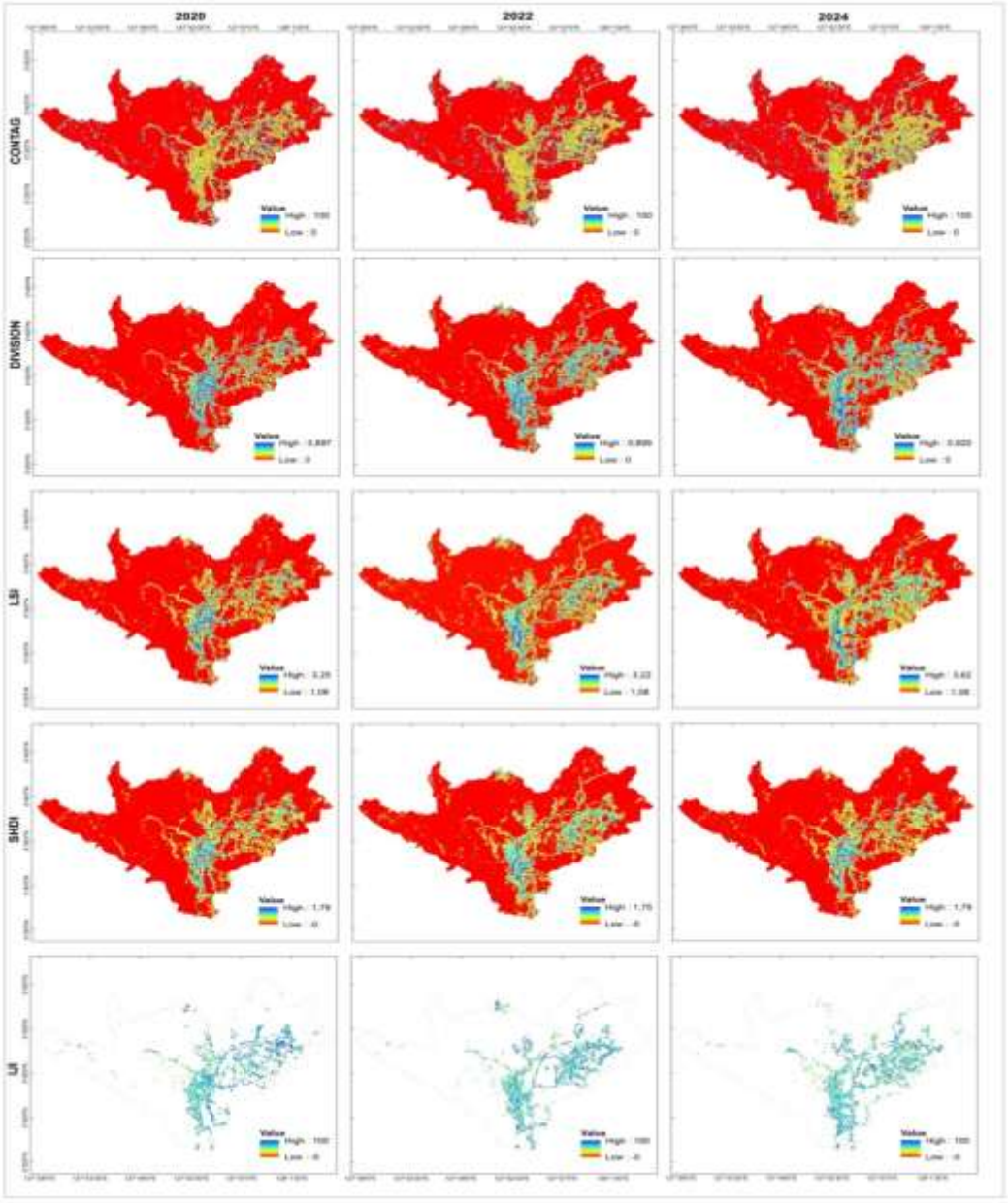
Tabel 8. Metrik Tingkat Lanskap DAS Ake Kobe Tahun 2020, 2022, dan 2024

Tahun	LSI	IJI	DIVISION	CONTAG	SHDI
2020	25,1508	64,3688	0,2956	84,3659	0,5953
2022	29,0363	70,8847	0,2882	83,2913	0,6262
2024	33,9124	70,9603	0,4429	79,662	0,7673

Sumber : Hasil analisis data penelitian (2025)

Hasil analisis menunjukkan adanya perubahan struktur lanskap yang mengarah pada peningkatan kompleksitas dan fragmentasi spasial selama periode 2020–2024. Nilai LSI meningkat dari 25,15 pada 2020 menjadi 33,91 pada 2024, yang menunjukkan meningkatnya kompleksitas bentuk *patch* akibat meningkatnya fragmentasi (**Tabel 8**). Peningkatan IJI dari 64,37 menjadi 70,96 menunjukkan distribusi antar kelas penggunaan lahan semakin merata dan tingkat pencampuran antar patch meningkat. Sebaliknya, CONTAG menurun dari 84,37% pada 2020 menjadi 79,66% pada 2024, menunjukkan berkurangnya kecenderungan kelas penggunaan lahan untuk membentuk kelompok yang teragregasi. Kondisi tersebut konsisten dengan peningkatan DIVISION dari 0,296 menjadi 0,443, yang menunjukkan meningkatnya pemisahan spasial antar *patch*. Secara bersama-sama, perubahan tersebut menunjukkan kecenderungan lanskap yang semakin terfragmentasi. Peningkatan SHDI dari 0,595 menjadi 0,767 menunjukkan meningkatnya keragaman komposisi penggunaan lahan. Namun, peningkatan keragaman tersebut tidak secara langsung menunjukkan peningkatan kualitas ekologis lanskap. Kondisi ini berkaitan dengan bertambahnya kelas non-vegetasi, khususnya TTB, PTG, dan IML, serta berkurangnya dominasi *patch* hutan berukuran besar.

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura



Gambar 6. Distribusi Perubahan Karakteristik Metrik Tingkat Lanskap DAS Ake Kobe

Secara keseluruhan, peningkatan LSI, IJI, dan DIVISION serta penurunan CONTAG menunjukkan bahwa struktur lanskap DAS Ake Kobe pada 2024 cenderung lebih kompleks, terfragmentasi, dan kurang teragregasi dibandingkan 2020 (**Tabel 8**; **Gambar 6**). Perubahan tersebut terutama berkaitan dengan ekspansi penggunaan lahan antropogenik dan berkurangnya kontinuitas vegetasi alami. Dari perspektif hidrologi DAS, fragmentasi dan peningkatan penggunaan lahan non-vegetasi dapat mengurangi kapasitas infiltrasi dan retensi air, sekaligus meningkatkan konektivitas aliran permukaan dari area terbuka atau terbangun menuju jaringan drainase. Kondisi tersebut berpotensi mempercepat pembentukan limpasan permukaan dan meningkatkan respons aliran DAS, terutama pada kejadian hujan dengan intensitas tinggi. Oleh karena itu, perubahan struktur dan konfigurasi lanskap berpotensi memengaruhi respons hidrologi DAS melalui perubahan kapasitas infiltrasi, retensi air, dan konektivitas aliran permukaan.

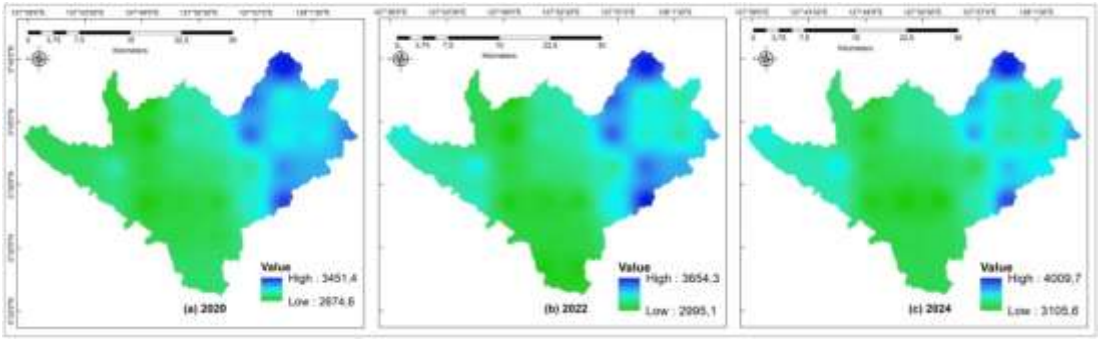
e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Keterkaitan antara perubahan penggunaan lahan dan respons hidrologi dalam penelitian ini selanjutnya dievaluasi melalui analisis transformasi hujan–limpasan menggunakan metode SCS Curve Number (SCS-CN).

Transformasi Hujan Limpasan

Karakteristik Perubahan Curah Hujan

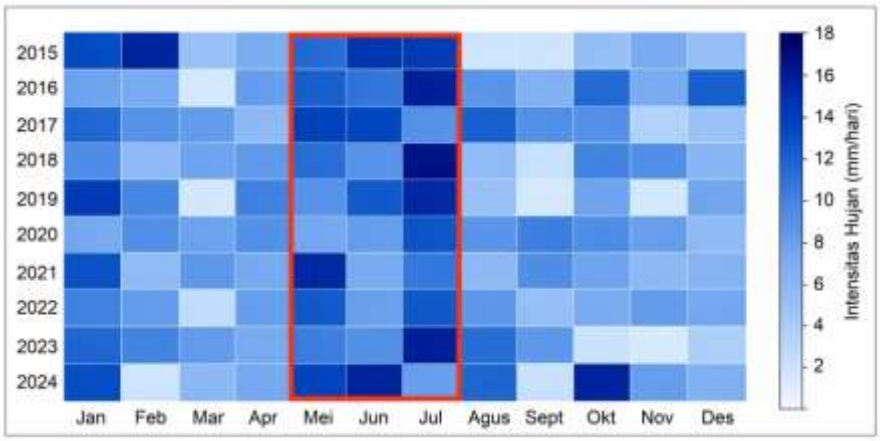
Distribusi spasial curah hujan rata-rata tahunan pada tahun 2020, 2022, dan 2024 di DAS Ake Kobe ditunjukkan pada **Gambar 7**. Distribusi curah hujan menunjukkan pola yang relatif konsisten, dengan wilayah bagian timur DAS menerima curah hujan lebih tinggi dibandingkan bagian barat. Sebaliknya, bagian barat cenderung memiliki curah hujan lebih rendah. Secara temporal, curah hujan tahunan menunjukkan tren peningkatan, yaitu dari 2.955,51 mm pada 2020 menjadi 3.251,83 mm pada 2022 dan 3.400,54 mm pada 2024. Rata-rata curah hujan pada ketiga tahun pengamatan mencapai 3.202,63 mm, dengan 2020 sebagai tahun dengan curah hujan terendah dan 2024 sebagai tahun dengan curah hujan tertinggi. Variasi tersebut menunjukkan adanya dinamika curah hujan antartahun yang dapat memengaruhi respons hidrologi DAS.



Gambar 7. Distribusi Curah Hujan Rata-rata Tahunan DAS Ake Kobe

Berdasarkan analisis intensitas hujan bulanan periode 2015–2024, DAS Ake Kobe menunjukkan pola musiman yang relatif konsisten. Intensitas tertinggi umumnya terjadi pada bulan Mei–Juli, dengan rata-rata mencapai 12,38–14,68 mm/hari. Pola tersebut ditunjukkan melalui heatmap intensitas hujan bulanan (**Gambar 8**), dengan periode Mei–Juli membentuk pola berulang setiap tahun. Sebaliknya, bulan Maret, September, dan November memiliki intensitas relatif lebih rendah, yaitu sekitar 7–10 mm/hari. Variasi intensitas hujan tersebut merupakan salah satu faktor yang memengaruhi pembentukan limpasan permukaan, karena besarnya curah hujan efektif yang berpotensi menghasilkan limpasan dipengaruhi oleh karakteristik hidrologi tanah dan penggunaan lahan yang direpresentasikan melalui nilai CN.

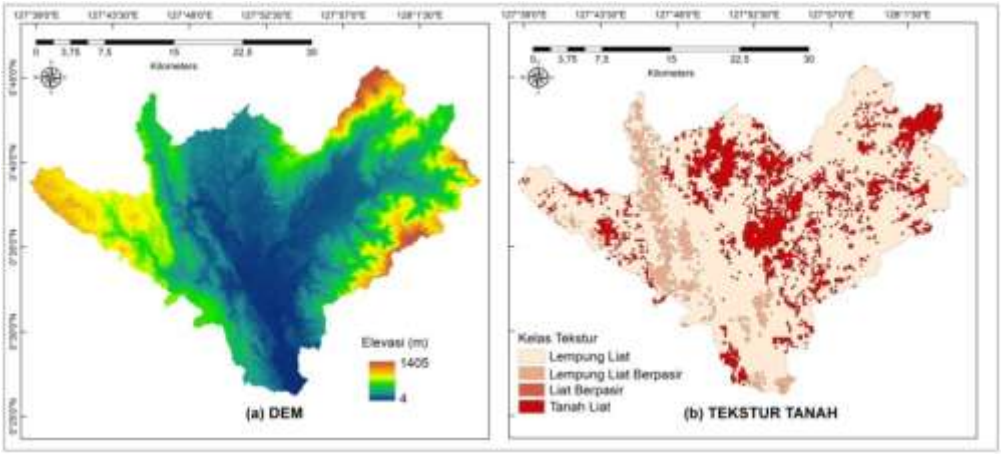
e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura



Gambar 8. Heatmap Intensitas Hujan Bulanan (mm/hari)

Karakteristik Nilai Curve Number (CN)

Nilai CN dipengaruhi oleh kondisi biofisik lahan, terutama penggunaan lahan, karakteristik tanah, dan kondisi permukaan yang menentukan kemampuan infiltrasi serta potensi pembentukan limpasan. Distribusi spasial DEM dan tekstur tanah DAS Ake Kobe ditunjukkan pada **Gambar 9**. Nilai CN tahun 2020, 2022, dan 2024 dihitung menggunakan HEC-GeoHMS berdasarkan kombinasi penggunaan lahan dan karakteristik kelompok hidrologi tanah. Dengan demikian, perubahan nilai CN merepresentasikan perubahan kondisi biofisik DAS yang berkaitan dengan dinamika penggunaan lahan selama periode penelitian. Distribusi nilai CN disajikan pada **Gambar 10**, sedangkan nilai CN tahun 2020, 2022, dan 2024 disajikan pada **Tabel 9**.



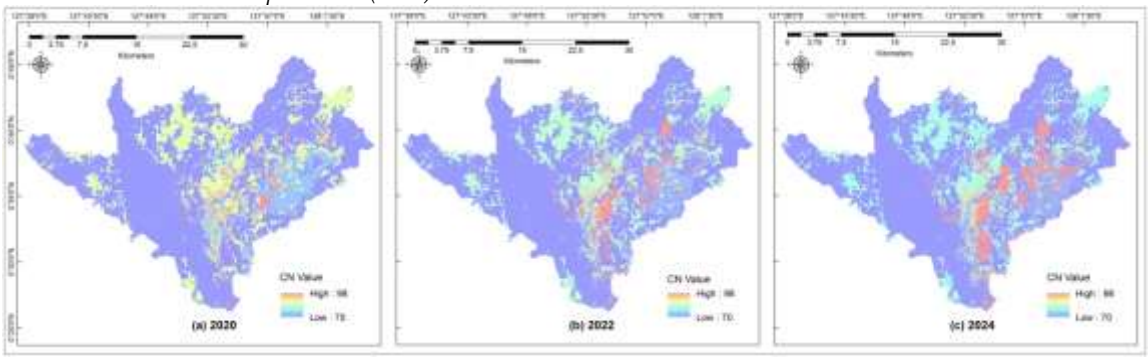
Gambar 9. Distribusi DEM dan Tekstur Tanah DAS Ake Kobe

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Tabel 9. Nilai CN dan Luas Penggunaan Lahan Berdasarkan Kelompok Hidrologi Tanah DAS Ake Kobe Tahun 2020–2024

Penggunaan Lahan	Kelompok Hidrologi Tanah	CN	2020 (ha)	2022 (ha)	2024 (ha)
Hutan baik	C	70	52.832,25	52.977,82	50.678,56
	D	77	14.035,98	14.372,41	13.711,19
Hutan buruk	C	72	5.046,03	3.189,50	3.434,76
	D	78	1.143,09	473,35	545,29
Kawasan industri dan perparkiran kedap air	C	94	181,58	308,75	457,28
	D	94	53,37	95,90	121,33
Lahan pertanian tertutup tanaman	C	79	1.108,72	1.247,13	1.416,70
	D	84	411,72	378,50	563,59
Lahan terbuka	C	88	725,42	2.198,20	3.828,97
	D	90	222,83	742,70	1.121,02
Padang rumput	C	73	1.352,60	1.136,87	1.141,70
	D	78	380,03	166,23	166,56
Tubuh perairan	C	98	226,62	414,95	515,25
	D	98	58,96	76,88	77,00
Total C (ha)			61.473,21	61.473,21	61.473,21
Total D (ha)			16.305,97	16.305,97	16.305,97
Total DAS (ha)			77.779,19	77.779,19	77.779,19

Sumber : Hasil analisis data penelitian (2025)



Gambar 10. Distribusi Nilai CN Tahun 2020, 2022 dan 2024 DAS Ake Kobe

Sebaran nilai CN pada DAS Ake Kobe berada pada rentang 70–98 selama periode penelitian dan menunjukkan perubahan spasial dari 2020 hingga 2024. Pada tahun 2020, kelas CN 70–79 mendominasi sekitar 98% wilayah, terutama pada bagian barat dan utara DAS yang didominasi vegetasi rapat dan memiliki kapasitas infiltrasi tinggi. Sementara itu, kelas CN 84–98 hanya mencakup sekitar 2% wilayah dan terutama terdapat pada bagian tengah dan timur yang telah mengalami aktivitas antropogenik, seperti pembukaan lahan dan permukiman.

Memasuki tahun 2022 dan semakin menguat pada 2024, area dengan CN 84–98 meningkat menjadi sekitar 5% pada 2022 dan 8% pada 2024. Perluasan tersebut terutama terjadi pada bagian tengah dan timur DAS. Sebaliknya, area dengan CN 70–79 mengalami penurunan proporsi hingga sekitar 92% pada 2024, serta menunjukkan pola yang semakin terfragmentasi. Perubahan distribusi CN tersebut menunjukkan meningkatnya proporsi area dengan kapasitas infiltrasi relatif lebih rendah, yang berkaitan dengan ekspansi permukiman, konversi penggunaan lahan, dan berkurangnya vegetasi.

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Secara hidrologis, peningkatan CN menunjukkan meningkatnya proporsi curah hujan yang berpotensi menjadi limpasan permukaan. Kondisi tersebut menjadi penting ketika terjadi peningkatan curah hujan, karena kombinasi antara curah hujan yang lebih tinggi dan nilai CN yang meningkat dapat menghasilkan limpasan yang lebih besar. Oleh karena itu, perubahan CN menjadi salah satu indikator penting dalam menjelaskan perubahan respons hidrologi DAS Ake Kobe selama periode penelitian.

Karakteristik Limpasan Permukaan

Estimasi limpasan permukaan dilakukan menggunakan metode SCS Curve Number (SCS-CN) dengan mempertimbangkan curah hujan dan kondisi penggunaan lahan serta karakteristik hidrologi tanah. Perhitungan menggunakan data curah hujan tahun 2020, 2022, dan 2024. Nilai limpasan permukaan disajikan pada **Tabel 10**, sedangkan distribusi spasialnya ditampilkan pada **Gambar 11**.

Tabel 10. Limpasan Permukaan Berdasarkan Nilai CN DAS Ake Kobe Tahun 2020, 2022, dan 2024

Nilai CN	S	CH_Maks (mm)			Limpasan permukaan (mm)		
		2020	2022	2024	2020	2022	2024
70	108,86	246,29	270,99	283,38	151,21	173,45	184,74
72	98,78	246,29	270,99	283,38	157,75	180,33	191,77
73	93,95	246,29	270,99	283,38	161,01	183,75	195,26
77	75,87	246,29	270,99	283,38	174	197,3	209,06
78	71,64	246,29	270,99	283,38	177,23	200,65	212,47
79	67,52	246,29	270,99	283,38	180,45	203,99	215,87
84	48,38	246,29	270,99	283,38	196,45	220,49	232,59
88	34,64	246,29	270,99	283,38	209,11	233,44	245,67
90	28,22	246,29	270,99	283,38	215,39	239,83	252,11
94	16,21	246,29	270,99	283,38	227,85	252,46	264,81
98	5,18	246,29	270,99	283,38	240,18	264,86	277,25

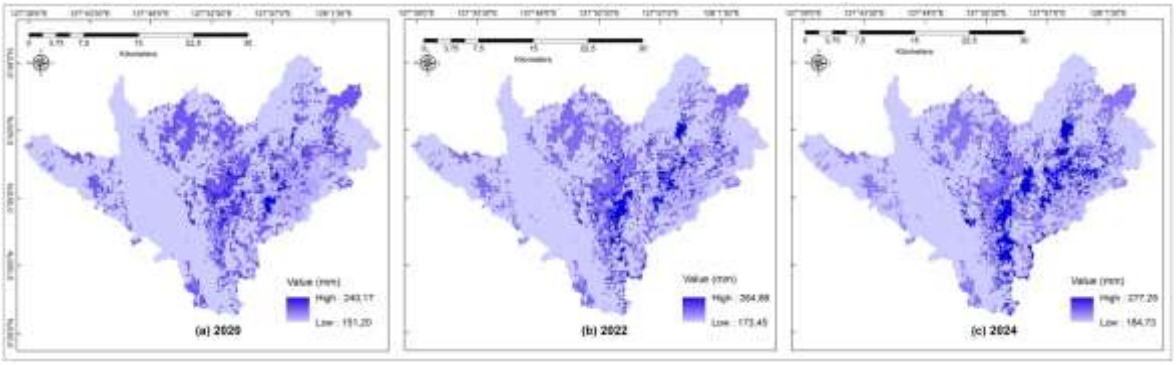
Keterangan:
S = retensi potensial maksimum (mm); CH_Maks = curah hujan maksimum harian (mm); limpasan permukaan = kedalaman limpasan permukaan (mm).
Sumber : Hasil analisis data penelitian (2025)

Limpasan permukaan DAS Ake Kobe menunjukkan peningkatan selama periode 2020–2024. Kisaran limpasan pada tahun 2020, 2022, dan 2024 berturut-turut sebesar 151,208–240,179 mm; 173,451–264,863 mm; dan 184,736–277,251 mm, dengan nilai rata-rata masing-masing 173,599 mm, 207,795 mm, dan 220,060 mm. Rata-rata limpasan meningkat sebesar 19,7% pada periode 2020–2022 dan 5,9% pada periode 2022–2024, sehingga secara kumulatif meningkat sebesar 26,8% selama 2020–2024. Secara spasial, peningkatan limpasan ditunjukkan oleh meluasnya area dengan nilai limpasan lebih tinggi, terutama pada bagian tengah dan timur DAS (**Gambar 11**).

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan adanya keterkaitan antara peningkatan curah hujan, perubahan nilai CN, dan peningkatan limpasan permukaan di DAS Ake Kobe. Curah hujan tahunan meningkat dari 2.955,51 mm pada 2020 menjadi 3.400,54 mm pada 2024, sementara area dengan nilai CN tinggi (84–98) meningkat dari sekitar 2% menjadi 8%. Pada periode yang sama, rata-rata limpasan permukaan meningkat dari 173,599 mm menjadi 220,060 mm atau sebesar 26,8%. Temuan ini menunjukkan bahwa perubahan kondisi penggunaan lahan dan karakteristik hidrologi permukaan, yang tercermin dalam peningkatan CN, berlangsung bersamaan dengan peningkatan

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

masukan curah hujan dan menghasilkan peningkatan limpasan permukaan. Dengan demikian, transformasi penggunaan lahan dan variabilitas curah hujan secara bersama-sama berkontribusi terhadap perubahan respons hidrologi DAS Ake Kobe, dengan peningkatan limpasan menjadi salah satu indikator utama perubahan tersebut.



Gambar 11. Distribusi Nilai Limpasan Permukaan Tahun 2020, 2022, dan 2024 DAS Ake Kobe

KESIMPULAN

Perubahan penggunaan lahan DAS Ake Kobe periode 2020–2024 ditandai oleh penurunan kelas hutan (HTN) dan peningkatan tanah terbuka (TTB), pertambangan (PTG), serta lahan terbangun (IML). Perubahan tersebut meningkatkan fragmentasi dan kompleksitas lanskap, ditunjukkan oleh peningkatan DIVISION dan LSI serta penurunan CONTAG dan LPI. Peningkatan CN yang diikuti kenaikan limpasan permukaan (Q) menunjukkan penurunan kapasitas infiltrasi dan peningkatan respons hidrologis DAS. Temuan ini menunjukkan bahwa transformasi penggunaan lahan merupakan faktor penting dalam perubahan karakteristik spasial dan hidrologis DAS Ake Kobe. Implikasinya, pengelolaan DAS perlu memprioritaskan pengendalian konversi hutan dan ekspansi pertambangan, rehabilitasi area terfragmentasi, serta pemulihan vegetasi. Integrasi metrik fragmentasi lanskap dan CN dapat digunakan sebagai pendekatan spasial-hidrologis untuk menentukan prioritas konservasi dan rehabilitasi berdasarkan potensi peningkatan limpasan, sehingga mendukung pengelolaan DAS Ake Kobe yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Andiles, M. (2021). Dampak Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Aliran Permukaan dan Risiko Banjir. Jurnal Sumber Daya Alam, 15(2), 112-130.

Andreassian, V. (2004). Waters and forests: From historical controversy to scientific debate. Journal of Hydrology, 291(1-2), 1-27. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.12.015

Arnold, C. L., Pomeroy, J. W., & Griffiths, A. D. (1998). Hydrologic Modeling: inciples and Applications. Cambridge University Press.

Arsyad, S. (2010). Erosi dan Konservasi Tanah (4th ed.). Bogor: IPB Press.

Asdak, C. (2010). Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Badan Pusat Statistik (BPS). 2020. Klasifikasi Baku Lahan Indonesia. Jakarta: BPS RI.

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Briassoulis, H. (2000). Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches. Regional Research Institute, West Virginia University.

Bruijnzeel, L.A. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? Agriculture, Ecosystems & Environment, 104(1), 185 228. https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.015

Calder, I. R. (1992). Hydrology in Practice (2nd ed.). London: Chapman & Hall.

Chow, V. T. (Ed.). (1964). Handbook of Applied Hydrology: A Compendium of Water-Resources Technology. McGraw-Hill.

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). Applied Hydrology. New York: McGraw-Hill.

Cook, H. L. (1942). Geomorphology and hydrology in relation to soil erosion. Dalam V. T. Chow (Ed.), Handbook of Applied Hydrology (1964). cGraw-Hill.

Dingman, S. L. (2015). Physical Hydrology (3rd ed.). Waveland Press.

Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., & Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. Science, 309(5734), 570-574. https://doi.org/10.1126/science.1111772

Food and Agriculture Organization (FAO). 2005. Global Forest Resources Assessment 2005: Progress Towards Sustainable Forest Management. Rome: FAO.

Forman, R. T. T. (1995). Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781107050327

Gunawan. (1991). Evaluasi kemampuan lahan dan arahan peruntukan lahan wilayah DAS Jratunseluna berdasarkan pendekatan sistem informasi geografis (SIG). Disertasi, Program Pascasarjana IPB, Institut Pertanian Bogor.

Guntoro, D., Indriani, G. E., & Irawan, D. E. (2017). Kajian perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik hidrologi di kawasan hutan Maluku Utara. Jurnal Ilmu Lingkungan, 15(2), 57-66.

Herold, M., Couclelis, H., & Clarke, K. C. (2005). The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. Computers, Environment and Urban Systems, 29(4), 369-399. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2003.12.001

Kartodihardjo, H., & Supriono, A. (2000). Deforestasi dan Kebijakan Kehutanan di Indonesia. Penerbit Pustaka LP3ES.

Lambin, E. F., Geist, H. J., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. Annual Review of Environment and Resources, 28, 205-241. https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459

Leopold, L. B., Wolman, M. G., & Miller, J. P. (1964). Fluvial Processes in Geomorphology. San Francisco: W. H. Freeman.

Linsley, R. K., Kohler, M. A., & Paulhus, J. L. H. (1958). Hydrology for Engineers. McGraw-Hill Book Company.

Maidment, D. R. (1993). Handbook of Hydrology. McGraw-Hill.

McCuen, R. H. (1989). Hydrologic Analysis and Design (2nd ed.). Prentice-Hall.

McGarigal, K., & Marks, B. J. (1995). FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. USDA Forest Service. https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351

McGarigal, K., Cushman, S. A., & Ene, E. (2002). FRAGSTATS v3: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps.

Meyer, W. B., & Turner, B. L. II. (1994). Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective. Cambridge University Press.

Nagendra, H., Munroe, D. K., & Southworth, J. (2003). From pattern to process: Landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change. Agriculture, Ecosystems & Environment, 101(2-3), 111-115. https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.003

Newman, M. E., Smith, T. M., & Lammers, R. B. (2014). The impact of human population on landscape fragmentation in the United States. Landscape Ecology, 29(10), 1901-1910. https://doi.org/10.1007/s10980-014-0081-6

Nugroho, A. P., Purwanto, Y., & Widodo, P. S. (2020). Analisis perubahan penggunaan lahan dengan pendekatan spasial dan temporal menggunakan citra satelit. Jurnal Geografi, 12(1), 45-56.

Oki, T., & Kanae, S. (2006). Global hydrological cycles and world water resources. Science, 313(5790), 1068-1072. https://doi.org/10.1126/science.1128845

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor P. 7 /V- DAS/2011 Tentang Petunjuk Teknis Sistem Standar Operasional Prosedur (SSOP) Penanggulangan Banjir dan Tanah Longsor

Singh, V. P. (1989). Hydrologic Modelling: A Study of Surface Runoff and Drainage Characteristics. Kluwer Academic Publishers.

Shearman, P. L., Bryan, J. E., Ash, J., Hunnam, P., Mackey, B., & Lokes, B. (2009). Forest conversion and degradation in Papua New Guinea 1972- 2002. Biotropica, 41(3), 379-390. https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00495.x

Soemarwoto, O. (2001). Ekologi, Lingkungan Hidup dan Pembangunan. Jakarta: Djambatan.

Soil Conservation Service. (1964). National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology. United States Department of Agriculture.

Sunaryo. (2005). Pengelolaan Daerah Aliran Sungai secara Terpadu. Jakarta: Bumi Aksara.

Turner, B.L., Meyer, W.B., & Skole, D.L. 1995. Global land-use/land-cover change: towards an integrated study. Ambio, 24(1), 152-159.

USDA-SCS. (1972). National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology. United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service.

USDA-SCS. (1985). Urban Hydrology for Small Watersheds (Tech. Release No. 55). United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service.

Verburg, P. H., Neumann, K., & Nol, L. (2009). Challenges in using land use and land cover data for global change studies. Global Change Biology, 17(2), 974-989. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02307.x

Ward, R. C., & Robinson, M. (2000). Principles of Hydrology (4th ed.). New York: McGraw-Hill.

Williams, J. R., & LaSeur, S. J. (1976). Hydrologic Models: Theory and Application. American Society of Agricultural Engineers.

Weng, Q. (2001). Modeling urban growth effects on surface runoff with the integration of remote sensing and GIS. Environmental Management, 28(6), 737-748. https://doi.org/10.1007/s002670010258

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura