

Analisis Struktur Ekologi Lanskap Daerah Aliran Sungai (DAS) Wae Halong, Pulau Ambon

Marisa Christina Makahity*, Jusmy Putuhena, Bokiraiya Latuamury
Pascasarjana Prodi Manajemen Hutan, Universitas Pattimura

*Email: ichamaka14@gmail.com

Artikel diterima :20 April 2026. Revisi diterima : 15 Juli 2026.

ABSTRACT

The Wae Halong Watershed on Ambon Island is one of the regions experiencing rapid development, characterized by massive land conversion for residential purposes. Land conversion has led to changes in land cover, which in turn have altered the ecological structure of the watershed landscape. Covering an area of approximately ± 458 ha, this watershed plays a crucial role in maintaining hydrological and ecological balance for the surrounding communities. This study aims to comprehensively analyze land cover changes and shifts in the ecological landscape structure of the Wae Halong Watershed during the period from 1996 to 2024. The research employs a mixed-methods approach, integrating quantitative spatial analysis with qualitative data obtained from field surveys. The main focus of the analysis is multitemporal land cover change based on Geographic Information Systems (GIS), along with the calculation of landscape metrics using Fragstats software. The results indicate a significant trend of landscape fragmentation. Natural land cover, particularly forests and shrublands, has experienced a drastic reduction in area, estimated at up to 50% over a 28-year period. In contrast, built-up areas have increased sharply, primarily driven by intensive large-scale housing development after 2011. The shift in landscape dominance from natural land cover to residential areas directly indicates a decline in environmental carrying capacity, the loss of ecological corridors, and increased watershed vulnerability to hazards such as flooding and landslides.

Keywords: Watershed, Landscape Ecology, Fragmentation, Land Cover, Small Island

ABSTRAK

Daerah Aliran Sungai (DAS) Wae Halong di Pulau Ambon merupakan salah satu wilayah yang mengalami perkembangan pesat yang ditandai dengan konversi lahan secara masif untuk permukiman. Konversi lahan akan berdampak pada perubahan tutupan lahan yang juga berakibat pada perubahan struktur ekologi lanskap DAS. DAS dengan luas ± 458 ha ini memegang peran krusial dalam menjaga keseimbangan *hidrologis* dan ekologis bagi masyarakat sekitarnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara komprehensif perubahan tutupan lahan dan perubahan struktur ekologi lanskap DAS Wae Halong selama periode 1996 hingga 2024. Metode yang digunakan adalah pendekatan campuran (*mixed methods*), yang memadukan analisis spasial kuantitatif dengan data kualitatif dari survei lapangan. Fokus utama analisis adalah perubahan data tutupan lahan multitemporal berbasis Informasi Geografis (SIG), dan perhitungan matrik lanskap menggunakan perangkat lunak Fragstat. Hasil analisis menunjukkan adanya tren fragmentasi lanskap yang signifikan. Tutupan lahan alami khususnya hutan dan semak belukar mengalami penurunan luas drastis yang diperkirakan mencapai 50% dalam kurun waktu 28 Tahun. Sebaliknya, lahan terbangun meningkat tajam terutama didorong oleh pembangunan perumahan besar yang intens setelah tahun 2011. Pergeseran dominansi lanskap dari tutupan lahan alami ke permukiman secara langsung mengindikasikan penurunan daya dukung lingkungan, hilangnya koridor ekologis, dan peningkatan kerentanan DAS terhadap bencana seperti banjir dan tanah longsor.

Kata Kunci: Daerah Aliran Sungai, Ekologi Lanskap, Fragmentasi, Tutupan Lahan, Pulau Kecil.

PENDAHULUAN

Pulau kecil menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2014 adalah pulau dengan luasan lebih kecil atau sama dengan 2.000 km² beserta kesatuan ekosistemnya. Pulau kecil merupakan wilayah dengan karakteristik unik, baik dari segi ekologi, geografis, maupun sosioekonomi. Namun, keunikan ini juga menjadikannya sangat rentan terhadap berbagai ancaman, baik alamiah maupun antropogenik. Kerentanan pulau kecil tercermin dari ketergantungannya yang tinggi pada sistem lokal, di mana perubahan kecil sekalipun dapat

berdampak besar. Misalnya, sedikit deforestasi dapat langsung mengurangi suplai air dan mempercepat erosi. Selain itu, pulau kecil sangat rentan terhadap perubahan iklim dan intrusi air laut, yang dapat mengganggu keseimbangan hidrologi (Irwanto, 2021).

Dalam ekosistem pulau kecil, Daerah Aliran Sungai (DAS) memegang peran penting dan berfungsi sebagai unit hidrologis utama yang menjamin ketersediaan dan kualitas air dari hulu hingga hilir, mengedalikan erosi, dan melestarikan keanekaragaman hayati. Renita (2024) menyebutkan bahwa DAS memiliki tiga fungsi

utama yaitu fungsi hidrologis sebagai sistem alami yang mengatur siklus air untuk menjaga keseimbangan dan menjamin kesinambungan air; fungsi ekologis sebagai penyedia habitat alami, menjadi koridor ekologis, mendukung keanekaragaman hayati dan mengatur iklim mikro; fungsi ekonomis dalam mendukung berbagai sektor kehidupan manusia mencakup penyediaan lahan subur untuk pertanian, perkebunan dan perikanan air tawar, mendistribusikan air yang sangat penting bagi kebutuhan rumah tangga, perindustrian dan pembangkit listrik, menyediakan habitat alami untuk ikan dan biota air tawar lainnya yang bernilai ekonomi serta keberadaan sungai yang bersih dan terjaga keindahannya menjadi daya tarik wisata yang akan berdampak pada perekonomian masyarakat sekitar wilayah DAS.

Pulau Ambon memiliki luas $\pm 743.37 \text{ km}^2$ yang menjadikan pulau ambon dikategorikan sebagai pulau kecil dan berfungsi sebagai pusat pemerintahan Provinsi Maluku. Kota Ambon sebagai ibu kota mengalami pertumbuhan penduduk yang signifikan dengan jumlah jiwa 357.289 pada tahun 2024 (BPS Kota Ambon Tahun 2024). Pertumbuhan ini memicu dinamika pembangunan yang memerlukan perluasan lahan permukiman dan infrastruktur. DAS Wae Halong dengan luasan $\pm 456 \text{ Ha}$, yang terletak di Negeri Halong dan Kelurahan Lateri, Kecamatan Teluk Ambon Baguala, Kota Ambon merupakan DAS yang mengalami tekanan perubahan yang cukup tinggi. Kawasan ini menjadi lokasi strategis bagi pembangunan perumahan modern berskala besar (seperti Citraland, Bliss Village, dan Royal Kingdom) dan juga perumahan-perumahan penduduk lainnya. Konversi lahan yang masif dari fungsi ekologis (hutan dan pertanian menjadi fungsi permukiman) telah menyebabkan perubahan struktur lanskap yang signifikan. Perubahan tata guna lahan yang tidak memperhatikan asas konservasi ini menimbulkan tantangan serius, termasuk fragmentasi habitat, degradasi kualitas air, peningkatan erosi, dan sedimentasi sungai (Aquino, & Hentinen, 2021). Fragmentasi habitat mengganggu koridor ekologis dan mengancam keanekaragaman hayati, sementara peningkatan limpasan permukaan (*run-off*) akibat lahan terbangun yang meningkatkan resiko bencana hidrometeorologi, khususnya banjir dan tanah longsor. Oleh karena itu pemahaman mendalam mengenai pola dan proses perubahan spasial ini menjadi sangat krusial. Untuk menganalisis dampak perubahan ini secara objektif, penelitian ini menggunakan Pendekatan Ekologi Lanskap. Pendekatan ini memungkinkan

analisis struktur lanskap yang mencakup komposisi (jenis dan proporsi tutupan lahan) dan konfigurasi (susunan spasial elemen lanskap. Kemajuan dalam ilmu penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) telah mempermudah analisis spasial multitemporal. Melalui SIG, berbagai data spasial dapat diintegrasikan, dan metrik lanskap dapat dihitung secara kuantitatif. Metrik lanskap, seperti *Number of Patches* (NP), *Edge Density* (ED), *Largest Patch Index* (LPI), dan *Cohesion Index* (COHESION), memberikan wawasan objektif mengenai tingkat fragmentasi, konektivitas antar habitat, dan kerentanan ekosistem. Analisis ini sangat penting untuk mengidentifikasi elemen kunci lanskap yang harus dilindungi atau direstorasi. Penelitian ini bertujuan untuk menyediakan data kuantitatif mengenai perubahan tutupan lahan dan struktur lanskap selama periode 1996–2024 yang diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dan rekomendasi berbasis keruangan yang kuat bagi pemerintah daerah dalam perencanaan tata ruang, konservasi, dan rehabilitasi lahan untuk menjamin keberlanjutan lingkungan DAS Wae Halong.

BAHAN DAN METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Wilayah DAS Wae Halong, yang terletak di Kecamatan Teluk Ambon Baguala, Kota Ambon, Provinsi Maluku pada koordinat $3^{\circ}38'34.76'' \text{ LS} - 3^{\circ}40'37.13'' \text{ LS}$ dan $128^{\circ}13'54.84'' \text{ BT} - 128^{\circ}15'10.44'' \text{ BT}$. Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober s.d November 2025.

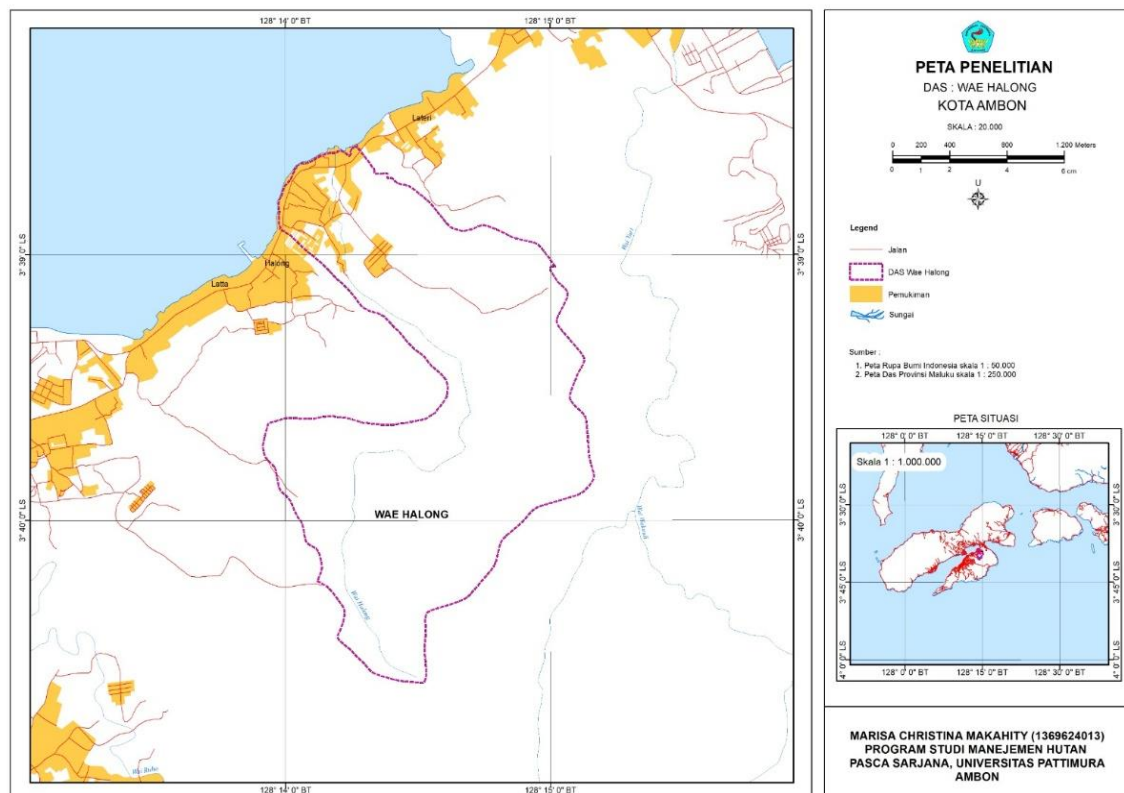
Prosedur Penelitian

Akuisisi Data

Mengumpulkan data non spasial berupa wilayah DAS Wae Halong, data spasial tutupan lahan (tahun 1996, 2003, 2011, 2017, dan 2024) yang bersumber dari Kementerian Kehutanan serta data pendukung lainnya. Data spasial tutupan lahan yang diperoleh kemudian dilakukan klasifikasi untuk menghasilkan data tutupan lahan untuk lima periode waktu (1996–2024).

Verifikasi Lapangan

Verifikasi lapangan merupakan pengecekan lapangan terhadap data klasifikasi tutupan lahan yang diperoleh. Pengecekan lapangan dilakukan guna mengevaluasi kualitas dan tingkat kepercayaan hasil klasifikasi melalui uji akurasi terhadap peta tutupan lahan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian DAS Wae Halong

Analisis Data

Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan untuk menilai keelitian hasil klasifikasi tutupan lahan dalam mengidentifikasi perubahan struktur ekologi lanskap di DAS Wae Halong. Pengujian dilakukan dengan metode *confusion matrix* melalui perbandingan antara data sekunder tutupan lahan dengan data pengecekan lapangan. Parameter yang dihitung meliputi *Overall Accuracy* (OA), *User's Accuracy* (UA), dan *Kappa Accuracy* (KA). Hasil uji akurasi digunakan untuk menilai kelayakan data dalam analisis lebih lanjut (Purwanti dkk, 2024).

Overall Accuracy (OA)

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

Keterangan:

n_{ii} = Jumlah sampel benar pada penggunaan lahan

N = Jumlah keseluruhan sampel penggunaan lahan

User's Accuracy (UA)

$$UA = \frac{n_{ii}}{X_{+i}} \times 100\%$$

Keterangan:

n_{ii} = Jumlah sampel benar

X_{+i} = Jumlah sampel hasil klasifikasi penggunaan lahan ke- i

Kappa Accuracy (KA)

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

Keterangan:

K_{hat} = Nilai akurasi Kappa

X_{+i} = Jumlah sampel hasil klasifikasi penggunaan lahan ke- i

X_{i+} = Jumlah sampel referensi penggunaan lahan ke -i

X_{ii} = Jumlah sampel referensi pada penggunaan lahan ke-i yang sesuai dengan piksel klasifikasi penggunaan lahan ke-i

i = Baris atau kolom

r = Jumlah kelas penggunaan lahan

N = Jumlah pada keseluruhan piksel referensi

Analisis Perubahan Tutupan Lahan

Analisis perubahan tutupan lahan dilakukan untuk mengetahui dinamika pemanfaatan ruang yang mengakibatkan perubahan tutupan lahan menggunakan metode paska klasifikasi (*post classification comparison* atau *delta classification*) merupakan ekstraksi perubahan informasi dari-ke (from-to) berupa informasi tematik atau kategorial yang didasarkan *overlay* citra telah diklasifikasi/diinterpretasi (Jensen, 1996). Spatial

Analyst ArcGIS 10.8 COMBINE digunakan untuk menghitung perubahan tutupan lahan di DAS Wae Halong dalam kurun waktu 28 tahun (1996, 2023, 2011, 2017, 2024).

Analisis Ekologi Lanskap

Analisis Perubahan Struktur Ekologi Lansekap menggunakan *software* FRAGSTATS V.4.2. Perhitungan metrik lanskap dilakukan pada tingkat kelas dan tingkat lanskap. Metrik yang dihitung meliputi NP, PD, ED, LPI, LSI, SHDI, dan *COHESION*.

Tabel 1. Indeks Metrik Lanskap

No	Indeks Lanskap	Rumus	Interpretasi
1.	LPI	$LPI = \max(a_{ij})A \times 100$	Nilai yang mendekati 0 menunjukkan wilayah dengan kawasan terbangun yang terfragmentasi dan bersifat polisentrik. Sebaliknya, nilai yang mendekati 100 menandakan bahwa hampir seluruh lanskap didominasi oleh satu <i>urban patch</i>
2.	NP	$NP = n_i$	Nilai tinggi menunjukkan semakin terfragmentasi
3.	PD	$PD = NA \times 10.00$	Nilai tinggi menunjukkan lanskap relatif terfragmentasi (banyak <i>patch</i> kecil per luas).
4.	ED	$ED = EA \times 10.000$	Nilai semakin tinggi menunjukkan <i>patch</i> makin terfragmentasi dan banyak batas antar penutup lahan
5.	LSI	$LSI = E^2 \pi A m^2$	Semakin besar nilai menunjukkan bentuk semakin kompleks/berongga.
6.	SHDI	$SHDI = -i = 1 \text{mpiln} p_i$	Nilai tinggi akan lebih heterogen dibandingkan dengan yang bernilai lebih rendah
7.	<i>COHESION</i>	$-\frac{\sum_{j=1}^n p_{ij}^*}{\sum_{j=1}^n p_{ij}^* \sqrt{a_{ij}^*}} \cdot \left[1 - \frac{1}{\sqrt{Z}} \right]^{-1} \cdot (100)$	Nilai mendekati 0 ketika proporsi lanskap yang terdiri dari kelas fokus berkurang dan menjadi semakin terbagi-bagi serta kurang terhubung secara fisik. <i>COHESION</i> dinyatakan sebagai 0 jika lanskap hanya terdiri dari satu sel non-latar belakang.

Keterangan: a_{ij} =luas patch ke- (ha); $\max(a_{ij})$ =luas patch terbesar; A =luas total lanskap (ha); N =jumlah patch; E = total panjang tepi (*edge*) semua patch (m); M =jumlah kelas; p_i =proporsi luas kelas i (antara 0-1); $\ln$ =Logaritma natural

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tutupan Lahan dan Perubahannya

Kelas tutupan lahan yang terdapat pada lokasi penelitian selama kurun waktu tahun 1996 – 2024 sebanyak 5 kelas tutupan lahan yaitu Hutan Lahan Kering Sekunder, Semak Belukar, Permukiman, Pertanian Lahan Kering campur dan Savana. Data tutupan lahan yang diperoleh kemudian dilakukan verifikasi lapangan untuk mengetahui kesesuaian data dengan kondisi lapangan. Penentuan titik sampel dilakukan dengan metode *purposive sampling*.

Dari hasil pengecekan yang dilakukan terhadap 45 titik sampel ditemukan 5 titik sampel yang data klasifikasi tutupan lahannya tidak sesuai. Dari 45 sampel, 40 sampel benar, sehingga

Nilai *overall accuracy* sebesar 88.89%, nilai Kappa *coefficient* sebesar 82,10%. Menurut Matlhodi et al (2019), dalam analisis Kappa, apabila hasil penghitungan menunjukkan nilai $kappa \geq 0.8$ menunjukkan adanya korelasi yang baik antara hasil uji akurasi interpretasi citra satelit dengan validasi lapangan, sedangkan nilai $kappa \leq 0.4$ memiliki klasifikasi yang rendah. Dari hasil uji akurasi nilai Kappa 82,10% (8,21) termasuk dalam korelasi yang baik. Ini menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat tinggi antara peta tutupan lahan dengan kondisi actual. Dengan *overall accuracy* 88,98% dan Kappa *coefficient* 81,20%, peta tutupan lahan ini memenuhi syarat untuk digunakan dalam analisis lebih lanjut, seperti analisis perubahan tutupan lahan.

Tabel 2. *Confusion Matrix*

Hasil Klasifikasi	Hasil Pengecekan				
	Permukiman	Semk Belukar	Pertanian Lahan Kering Campur	Savana	Total
Permukiman	22	3	1	0	26
Sema/Belukar	1	7	0	0	8
Pertanian Lahan Kering Campur	0	0	9	0	9
Savana	0	0	0	2	2
Total	23	10	10	2	45

Sumber: Analisis Data 2025

Tabel 3. Data Tutupan Lahan dan Perubahannya Pada DAS Wae Halong Periode 1996-2024

No	Tutupan Lahan	Luas (Ha) / Tahun					Perubahan	Persentase
		1996	2003	2011	2017	2024		
1	Hutan Kering Sekunder	187,19					- 187,19	-100%
2	Semak Belukar	192,87	196,86	192,73	161,77	165,86	-27,01	-14%
3	Pertanian Lahan Kering Campur	39,56	221,99	223,63	184,05	170,94	131,38	+332,10%
4	Permukiman	36,85	37,63	40,12	76,54	85,56	+48,71	+132,18%
5	Savana				34,12	34,12	+34,12	-
	Total Luas	456,48	456,48	456,48	456,48	456,48		

Sumber: Analisis Data 2025

Analisis spasial multitemporal terhadap data tutupan lahan menunjukkan adanya perubahan tutupan lahan yang sangat dinamis di DAS Wae Halong selama 28 tahun terakhir yang disebabkan oleh tekanan pembangunan.

Kelas Hutan Lahan Sekunder setelah tahun 1996 mengalami perubahan total (100%) mengindikasikan adanya konversi lahan secara besar yang dialih fungsikan menjadi kelas tutupan lahan lainnya yaitu pertanian lahan kering campur dan sebagian menjadi semak belukar. Perubahan massif hutan lahan kering sekunder menjadi pertanian lahan kering campur dan semak belukar merupakan bentuk perubahan tutupan lahan paling umum di Indonesia, terutama pada wilayah dengan tekanan penduduk dan aksesibilitas tinggi.

Semak belukar meskipun hanya berkurang 11,37% secara total, pola perubahannya menunjukkan fluktuatif dengan tren menurun setelah tahun 2003. Penurunan terutama terjadi pada periode 2011 – 2017 dimana tutupan lahan semak belukar berkurang sebesar 30,96 Ha. Penurunan tajam semak belukar disebabkan oleh konversi lahan ke permukiman, pertanian lahan kering campur dan savana akibat kebutuhan masyarakat akan permukiman, lahan pertanian dan degradasi lahan yang terjadi.

Pertanian lahan kering campur mengalami perubahan sebesar 332,10%. Tren peningkatan pada periode 1996-2011 dengan luasan 39,56 Ha menjadi 223,63 Ha. Pada periode setelah 2011 hingga 2024 mengalami tren penurunan hingga

menjadi 170,94 Ha yang dialihfungsikan menjadi permukiman dan sebagiannya menjadi savana.

Permukiman mengalami peningkatan yang konsisten dan signifikan sepanjang periode. Secara total perubahan tutupan lahan permukiman sebesar 132,18%. Lonjakan terbesar terjadi pada periode 2011 – 2017 dari 40,12 Ha menjadi 76,54 Ha. Hal ini menunjukkan adanya ekspansi ruang terbangun yang diakibatkan oleh adanya urbanisasi dan konversi lahan dalam wilayah DAS Wae Halong. Hal ini ditunjukan dengan masifnya pembangunan perumahan modern berskala besar maupun kecil. Pembangunan ini memanfaatkan aksesibilitas yang mudah ke pusat kota, menjadikan DAS Wae Halong sebagai hotspot urbanisasi. Alih fungsi lahan ini secara fundamental mengubah kemampuan DAS dalam menyediakan jasa lingkungan, terutama dalam hal regulasi air dan pencegahan erosi. Kebutuhan lahan untuk permukiman menjadi fenomena yang umum dalam perkembangan sosial ekonomi masyarakat.

Savana muncul pada periode tahun 2011-2017 dan mengalami kestabilan hingga tahun 2024 seluas 34,12 Ha. Kemuculan savana menguatkan dugaan bahwa konversi lahan besar-besaran pada periode ini tidak hanya menghasilkan permukiman tetapi juga lahan terbuka yang terdegradasi.

Perubahan tutupan lahan yang terjadi menunjukkan adanya tekanan antropogenik yang kuat terhadap wilayah DAS Wae Halong dimana terjadi pergeseran dari lanskap dominan vegetasi alami/pertanian menuju lanskap antropogenik yang didominasi permukiman dan lahan terbuka, suatu

pola yang sering terjadi pada DAS di pulau-kecil yang menghadapi tekanan ruang tinggi.

Struktur Ekologi Lanskap dan Perubahannya

Perubahan tutupan lahan yang masif ini secara langsung memicu perubahan signifikan pada

struktur ekologi lanskap DAS Wae Halong, yang diukur melalui metrik lanskap. Analisis struktur ekologi lanskap dilakukan pada pada tigtat lanskap dan kelas tutupan lahan.

Tabel 3. Tren Perubahan Metrik Lanskap DAS Wae Halong Periode Tahun 1996-2024

Metrik Lanskap	Dimensi	Satuan	1996	2003	2011	2017	2024	Tren Umum
Number of Patches (NP)	Jumlah Fragmen/Petak	Jumlah	10	9	11	13	14	Meningkat
Patch Density (PD)	Kepadatan Fragmen	Jumlah/100 Ha	2,19	1,97	2,41	2,85	3,07	Meningkat
Large Patch Indeks (LPI)	Indeks fragmen terbesar	%	41,37	42,25	41,34	34,73	35,78	Menurun
Total Edge (TE)	Total Panjang tepi	Meter	13041,09	12597,14	13031,84	16361,48	17425,12	Meningkat
Edge Density (ED)	Kepadatan tepi	Meter/Ha	28,57	27,6	28,55	35,84	38,17	Meningkat
Landscape Shape Indeks (LSI)	Indeks bentuk lanskap	Indeks	3,31	3,26	3,31	3,7	3,82	Meningkat
Patch Cohesion Index(COHESION)	Indeks kohesi	%	99,47	99,54	99,51	99,29	99,31	Menurun
Shannon's Diversity Index (SHDI).	Indeks keragaman shannon	Indeks	1,14	0,92	0,93	1,23	1,24	Meningkat

Sumber: Analisis Data 2025

Peningkatan NP (Number of Patches), PD (Patch Density),

NP yang meningkat dari 10 menjadi 14 menunjukkan peningkatan fragmentasi lanskap dimana bidang habitat yang sebelumnya mungkin lebih luas dan utuh, kini terpecah menjadi potongan-potongan yang lebih banyak dan (biasanya) lebih kecil. Peningkatan fragmentasi yang terjadi pada DAS Wae Halong diperkuat dengan peningkatan kepadatan patch (PD) yang meningkat 2,19 patch/100 ha menjadi 3,07 patch/100 ha.

Penurunan LPI (Largest Patch Index) dan peningkatan TE (Total Edge) dan ED (Edge Density)

Penurunan dominansi fragmen terbesar (LPI) dari 41,37% menjadi 35,78%. Terpecah-pecahnya suatu bidang menyebabkan peningkatan panjang batas atau panjang tepi yang juga memberikan efek terhadap area lanskap. Hal ini ditunjukkan dengan nilai Total Edge (TE) yang meningkat dari 13041,09 m (Tahun 1996) menjadi 17425,12 m (Tahun 2024) dengan tingkat kepadatan panjang tepi (Edge Density) yang juga meningkat dari 28,57 m/ha menjadi 38,17 m/ha. Secara sederhana dapat digambarkan seperti sebuah bidang hutan berbentuk lingkaran sederhana yang hanya memiliki satu garis batas keliling. Jika bidang itu terpecah menjadi empat

fragmen kecil yang terpisah, maka total keliling keempat fragmen tersebut akan jauh lebih panjang daripada keliling satu fragmen besar tadi, meskipun luas totalnya mungkin sama. Setiap meter tambahan garis batas itu menciptakan area tepian yang akan mudah terpegaruh oleh kondisi luar yang dapat merusak bidang tersebut.

Peningkatan LSI (Landscape Shape Index)

LSI yang meningkat dari 3,31 menjadi 3,82 menunjukkan bentuk fragmen yang terbentuk menjadi semakin kompleks dan tidak beraturan. LSI rendah menunjukkan fragmen yang berbentuk mendekati lingkaran atau persegi misalnya hutan alam yang utuh dengan batas alami yang mulus. sebaliknya LSI yang tinggi menunjukkan fargamen mengalami banyak tonjolan, lekukan, saling menjari, atau terpecah seperti puzzle. Misalnya hutan yang tepian-tepiannya telah digangu oleh pembukaan lahan untuk pertanian atau pemukiman. Lanskap DAS Wae Halong bukan hanya mengalami peningkatan fragmentasi tetapi juga fragmentasi yang terbentuk kompleks dan tidak beraturan. Semakin kompleks bentuk fragmen menghasilkan batas tepi yang juga semakin Panjang

Penurunan COHESION

Konektivitas (COHESION) antar fragmen menurun dari 99,47 menjadi 99,31. Terlihat kecil

namun berpengaruh sangat signifikan secara ekologis karena penurunan kecil dalam konektivitas dapat menjadi tanda peringatan dini bahwa sistem mendekati ambang batas dimana konektivitas dan tidak menutup kemungkinan akan runtuh secara tiba-tiba. Jika mendekati 100% menunjukkan fragmen-fragmen sangat terhubung dengan baik, hampir membentuk satu kesatuan yang utuh. Semakin turun dari 100% menunjukkan semakin terisolasinya fragmen-fragmen tersebut. *COHESIOAN* mengukur konektivitas fisik dan fungsional antar fragmen sejenis dalam suatu lanskap. Indeks ini menilai seberapa baik fragmen-fragmen tersebut terjalin dan terhubung satu sama lain, membentuk jaringan yang kohesif

a. Peningkatan Shannon's Diversity Index (SHDI)

Shannon's Diversity Index (SHDI) yang meningkat menunjukkan keragaman jenis fragmen yang meningkat. Peningkatan keragaman jenis tutupan lahan, yang dalam konteks ini disebabkan oleh munculnya savana sebagai kelas tutupan lahan baru, bukan peningkatan kualitas ekologis

Perubahan Pada Level Kelas

Kelas Permukiman

Pada kelas permukiman, *CA (Class Area)* meningkat drastis dari 36,85 Ha menjadi 85,55 Ha. *NP (Number of Patches)* meningkat dari 1 menjadi 2 pada tahun 2024, tetapi sempat mencapai 3 pada tahun 2011, menunjukkan pola pertumbuhan yang awalnya menyebar kemudian mulai menyatu. Nilai *LPI* permukiman meningkat dari 8,07 (1996) menjadi 16,12 (2024), menunjukkan bahwa *patch* permukiman tersebar semakin dominan dalam lanskap. *TE* dan *ED* yang sama-sama mengalami peningkatan signifikan dari 2.839,44 m (1996) menjadi 8.296,36 m (2024) dan juga *ED* yang naik dari 6,22 menjadi 18,17 menunjukkan bahwa permukiman mengalami peningkatan kompleksitas tepi dan penyebaran spasial. Peningkatan tepi mencerminkan pola pembangunan yang tidak kompak, suatu ciri umum dari perkembangan ruang terbangun pada DAS di wilayah berkembang (Arsyad, 2010).

Nilai *LSI* meningkat dari 1,98 (1996) menjadi 3,30 (2024), yang mengindikasikan bentuk *patch* yang semakin tidak beraturan. Namun, nilai *COHESION* tetap tinggi (98–99), menandakan *patch* permukiman tetap terhubung secara struktural meskipun bentuknya semakin kompleks..

Pertanian lahan kering campur

Kelas pertanian lahan kering campur mengalami peningkatan luas dari 221,99 ha (2003)

menjadi 223,63 ha (2011), kemudian menurun menjadi 170,94 ha pada 2024. Penurunan setelah 2011 menunjukkan konversi lahan pertanian menjadi permukiman. *NP* mengalami peningkatan dari 4 (2003) menjadi 7 (2024), dengan *PD* meningkat dari 0,88 menjadi 1,53. Kenaikan *NP* dan *PD* mencerminkan meningkatnya fragmentasi lahan pertanian. Menurut Sitorus (2004), fragmentasi lahan pertanian dapat mengurangi efektivitas budidaya dan mempercepat alih fungsi lahan.

Nilai *LPI* tetap pada kisaran 27–32 selama seluruh periode, menunjukkan bahwa salah satu *patch* pertanian tetap menjadi *patch* dominan dalam lanskap meskipun ukuran total kelas menurun. Nilai *TE* dan *ED* cenderung tinggi dan relatif stabil (*TE* sekitar 12.874–12.985; *ED* 27–28). Hal ini mencerminkan struktur lahan pertanian yang tidak kompak dan memiliki banyak batas tepi. Kondisi ini umum terjadi pada lahan pertanian yang berbatasan dengan berbagai tipe penggunaan lahan lainnya.

LSI meningkat dari 3,39 (2003) menjadi 3,43 (2024), yang menunjukkan pola bentuk *patch* yang semakin tidak teratur. Nilai *COHESION* menurun dari 99,52 menjadi 99,18, meskipun penurunannya kecil namun menandakan penurunan minimal pada tingkat keterhubungan *patch* pertanian.

Semak Belukar

Kelas semak belukar menunjukkan *CA (Class Area)* menurun dari 196,86 di tahun 2003 menjadi 161,77 ha di tahun 2017, kemudian meningkat menjadi 165,86 ha di tahun 2024. *NP* dan *PD* memiliki tren tetap pada angka 4 dan 0,88 yang kemudian menurun pada tahun 2024 menjadi 3 dan 0,66 yang menunjukkan tingkat fragmentasi yang tidak terlalu ekstrem. Nilai *LPI* fluktuatif dari 42,25 di tahun 2003 menjadi 41,34 di tahun 2011 dan 35,78 di tahun 2024. Penurunan ini menunjukkan bahwa *patch* semak terbesar mengalami penyusutan sehingga dominasi vegetasi semak dalam lanskap melemah. Nilai *TE* meningkat dari 9.609,71 menjadi 9.998,17 di tahun (2003 - 2024), sementara nilai *ED* meningkat dari 21,05 menjadi 21,90. Peningkatan ini menggambarkan bertambahnya kompleksitas tepi dan heterogenitas bentuk *patch* semak akibat gangguan terus menerus.

Nilai *LSI* meningkat dari 2,71 (2003) menjadi 2,76 (2024), sedangkan *COHESION* menurun sedikit dari 99,66 menjadi 99,63. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terjadi sedikit fragmentasi, *patch* semak masih memiliki konektivitas yang relatif kuat.

Savana

Kelas savana mulai muncul pada tahun 2017 dengan luas 34,12 ha. Nilai NP sebesar 2, PD sebesar 0,44, dan LPI sebesar 6,14 menunjukkan bahwa savana terbentuk sebagai unit vegetasi baru dengan fragmentasi rendah. Kondisi ini dapat mencerminkan degradasi vegetasi akibat gangguan seperti kebakaran, pembukaan lahan, atau pemanfaatan berulang (Indriyanto, 2006). Nilai ED sebesar 7,82 dan LSI 2,43 menunjukkan bahwa bentuk patch savana tidak terlalu kompleks. Namun, nilai *COHESION* sebesar 98,29 mengindikasikan tingkat keterhubungan *patch* yang rendah dibandingkan kelas lain, menandakan bahwa savana masih merupakan unit vegetasi baru yang belum stabil secara ekologis.

Secara keseluruhan, perubahan struktur ekologi lanskap DAS Wae Halong menunjukkan pergeseran dari lanskap yang didominasi oleh tutupan lahan alami/semi-alami yang relatif kohesif (1996) menjadi lanskap yang terfragmentasi, heterogen, dan didominasi oleh permukiman (2024) yang ditandai dengan meningkatnya fragmentasi, menyusutnya vegetasi alami (semak dan hutan sekunder) serta munculnya savana. Meningkatnya dominansi penggunaan lahan antropogenik ditandai dengan permukiman dan pertanian yang semakin dominan.

Implikasi Ekologis Perubahan Struktur Lanskap

Perubahan struktur lanskap DAS Wae Halong yang teridentifikasi dari analisis metrik (NP, PD, LPI, TE, ED, LSI, *COHESION*, SHDI) secara kolektif memiliki implikasi ekologis karena perubahan yang terjadi pada struktur lanskap yaitu peningkatan fragmentasi lanskap, peningkatan kompleksitas bentuk lanskap dan panjang tepi dan perubahan konektivitas dan keragaman lanskap. Fragmentasi hutan primer berpotensi mengurangi daya dukung untuk *species* yang bergantung pada habitat hutan, terutama *species* dengan *home range* yang luas atau *requirement* habitat yang spesifik.

Peningkatan *edge density* dapat mengubah mikroklim habitat, meningkatkan penetrasi cahaya dan angin ke interior hutan, serta memfasilitasi invasi spesies eksotik. *Edge effect* juga dapat meningkatkan mortalitas pohon dewasa dan mengurangi regenerasi alami, yang pada jangka panjang dapat mengubah komposisi dan struktur komunitas hutan.

Penurunan konektivitas lanskap dapat menghambat penyebaran individu dan perkawinan antar populasi sejenis yang dapat meningkatkan risiko kepunahan lokal dan mengurangi ketahanan ekosistem terhadap gangguan. Dari perspektif hidrologi, konversi hutan menjadi pertanian dapat

mengubah pola aliran permukaan, meningkatkan *peak discharge* dan risiko banjir, serta mengurangi *groundwater recharge*. Perubahan *land use* juga dapat mempengaruhi kualitas air melalui peningkatan sedimentasi dan input nutrisi dari aktivitas pertanian.

KESIMPULAN

DAS Wae Halong mengalami perubahan tutupan lahan yang sangat cepat dan signifikan antara tahun 1996 sampai 2024, ditandai dengan penurunan luas tutupan lahan alami (Hutan Lahan Kering Sekunder sebesar 100% dan Semak Belukar sebesar 11,37%) dan peningkatan luas lahan terbangun (132,18%). Perubahan tutupan lahan ini telah menyebabkan fragmentasi ekologi lanskap yang ditunjukkan oleh peningkatan metrik fragmentasi (NP dan ED) dan penurunan metrik konektivitas (LPI dan *COHESION*) untuk *patch* alami. Dominansi lanskap telah bergeser dari matriks alami yang berfungsi sebagai penyangga.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dosen, Mahasiswa dan semua pihak yang telah berpartisipasi dalam menyelesaikan penelitian ini. Semoga penelitian dapat berguna dan bermfaat bagi para pembaca.

DAFTAR PUSTAKA

- Aquino, A., & Henttinen, A. (2021). *Pendekatan lanskap di Indonesia: Dari konsep hingga perangkat praktis untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan mata pencaharian*. World Bank Blogs. [World Bank Blogs](#)
- Arsyad, S. (2010). *Konservasi tanah dan air*. IPB Press.
- Badan Pusat Statistik Kota Ambon. (2024). *Kota Ambon dalam angka 2024*. Badan Pusat Statistik Kota Ambon.
- Boreel, A., Parera, L. R., & Farneubun, N. N. (2023). Land use change and configuration of landscape spatial pattern around the Gunung Nona protected forest area, Ambon. [Nama jurnal belum dicantumkan], 7(1), 81–89.
- Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan. (2020). *Petunjuk teknis penafsiran citra satelit resolusi sedang untuk update data penutupan lahan nasional*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Fajarnurrochim. (2017). *Analisis karakteristik hidrologi daerah aliran sungai* [Skripsi, Institut Teknologi Bandung]. Digilib ITB.

- Irwanto. (2021). *Karakteristik pulau kecil, terisolasi dan terpencil*. [Irwanto.id](http://irwanto.id)
- McGarigal, K., & Marks, B. J. (1995). *FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure* (General Technical Report PNW-GTR-351). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- McGarigal, K., Cushman, S. A., & Ene, E. (2012). *FRAGSTATS v4: Spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps*. University of Massachusetts.
- McGarigal, K. (2015). *FRAGSTATS help*. Department of Environmental Conservation, University of Massachusetts Amherst.
- Prasetyo, L. B. (2017). *Pendekatan ekologi lanskap untuk konservasi biodiversitas*. Institut Pertanian Bogor.
- Purwanti, R., Setyanto, Y., & Wibowo, A. (2024). Analisis Perubahan Tutupan Lahan Pertanian dan Perkebunan di Bendungan Gondang, Kabupaten Karanganyar menggunakan Google Earth. *Jurnal Spatial Wahana Komunikasi Dan Informasi Geografi*, 24(1), 10–20.
<https://doi.org/10.21009/spatial.241.02>
- Ramadhan, M. (2015). *Patch analysis menggunakan FRAGSTATS: Studi kasus area Jambi*. Badan Riset dan Inovasi Nasional.
- Sitorus, S. R. P. (2004). *Pengembangan sumber daya lahan*. Institut Pertanian Bogor.
- Salim, A. G., Dharmawan, I. W. S., & Narendra, B. H. (2019). Pengaruh perubahan luas tutupan lahan hutan terhadap karakteristik hidrologi DAS Citarum Hulu. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 333–340.
<https://doi.org/10.14710/jil.17.2.333-340>