

Analisis Spasial Perubahan Struktur Ekologi Lanskap Daerah Aliran Sungai (DAS) Wae Halong (1996 - 2024)

Marisa Christina Makahity, Jusmy Putuhena, Bokiraiya Latuamury
Pascasarjana Prodi Manajemen Hutan, Universitas Pattimura, Jl. Ir M Putuhena, Kampus Poka, Ambon
Email: ichamaka14@gmail.com

Artikel diterima : 12 November 2025. Revisi diterima : 10 Januari 2026.

ABSTRACT

Small islands such as Ambon Island possess unique characteristics from ecological, geographical, and socioeconomic perspectives. However, these ecosystems are highly vulnerable to environmental changes due to both natural factors and anthropogenic pressures. The Wae Halong Watershed on Ambon Island is one area experiencing rapid development, marked by massive land conversion for settlement. Land conversion will impact land cover change, which in turn affects the ecological structure of the watershed landscape. Covering an area of approximately 458 hectares, 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 changes in the ecological structure of the Wae Halong Watershed landscape from 1996 to 2024. The method used is a mixed methods approach, combining quantitative spatial analysis with qualitative data from field surveys. The main focus of the analysis is on multitemporal Geographic Information System (GIS) based land cover data changes and the calculation of landscape metrics (Number of Patches, Edge Density, Patch Density, Largest Patch Index, Landscape Shape Indeks, Shannon's Diversity Index, dan Cohesion Index) using Fragstats software. The analysis results show a significant trend of landscape fragmentation. Natural land cover, particularly forest and shrubs, has experienced a drastic reduction in area, estimated at 50% over the 28 year period. Conversely, built-up land has increased sharply, primarily driven by intensive large scale housing development after 2011. This change is evident from the increase in fragmentation metric values such as Number of Patches (NP) and Edge Density (ED), indicating that natural habitat patches are becoming more fragmented and isolated. The decrease in the Largest Patch Index (LPI) and Cohesion Index (COHESION) for natural land cover classes confirms the loss of connectivity and a shift in landscape dominance. The shift in landscape dominance from natural land cover to settlements directly indicates a decline in environmental carrying capacity, loss of ecological corridors, and increased watershed vulnerability to disasters such as floods and landslides.

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

ABSTRAK

Pulau kecil seperti pulau Ambon memiliki karakteristik unik baik dari segi ekologi, geografis maupun sosioekonomi. Namun ekosistem ini sangat rentan terhadap perubahan lingkungan baik karena faktor alam maupun tekanan antropogenik. 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 (*Number of Patches*, *Edge Density*, *Patch Density*, *Largest Patch Index*, *Landscape Shape Indeks*, *Shannon's Diversity Index*, dan *Cohesion Index*) 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. Perubahan ini terlihat dari peningkatan nilai *metrik fragmentasi seperti Number of Patches (NP) dan Edge Density (ED)* yang mengindikasikan patch habitat alami semakin terpecah dan terisolasi. Penurunan *Largest Patch Index (LPI)* dan *Cohesion Index (COHESION)* untuk kelas tutupan lahan alami menegaskan hilangnya konektivitas dan pergeseran dominansi lanskap. 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, serta karakteristik pulau kecil yang 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 ± 761 km² (BPS Kabupaten Maluku Tengah Tahun 2013) yang menjadikan pulau ambon dikategorikan sebagai pulau kecil dan berfungsi sebagai pusat pemerintahan Provinsi Maluku. Kota Ambon sebagai ibu kota Provinsi Maluku 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 ± 456 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 pembangunan perumahan modern berskala besar (seperti Citraland, Bliss Village, dan Royal Kingdom) serta perumahan-perumahan penduduk lainnya.

Perubahan tata guna lahan yang tidak memperhatikan asas konservasi menimbulkan tantangan serius, termasuk fragmentasi habitat, degradasi kualitas air, peningkatan erosi, dan sedimentasi sungai (Aquino dan Henttinen, 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.

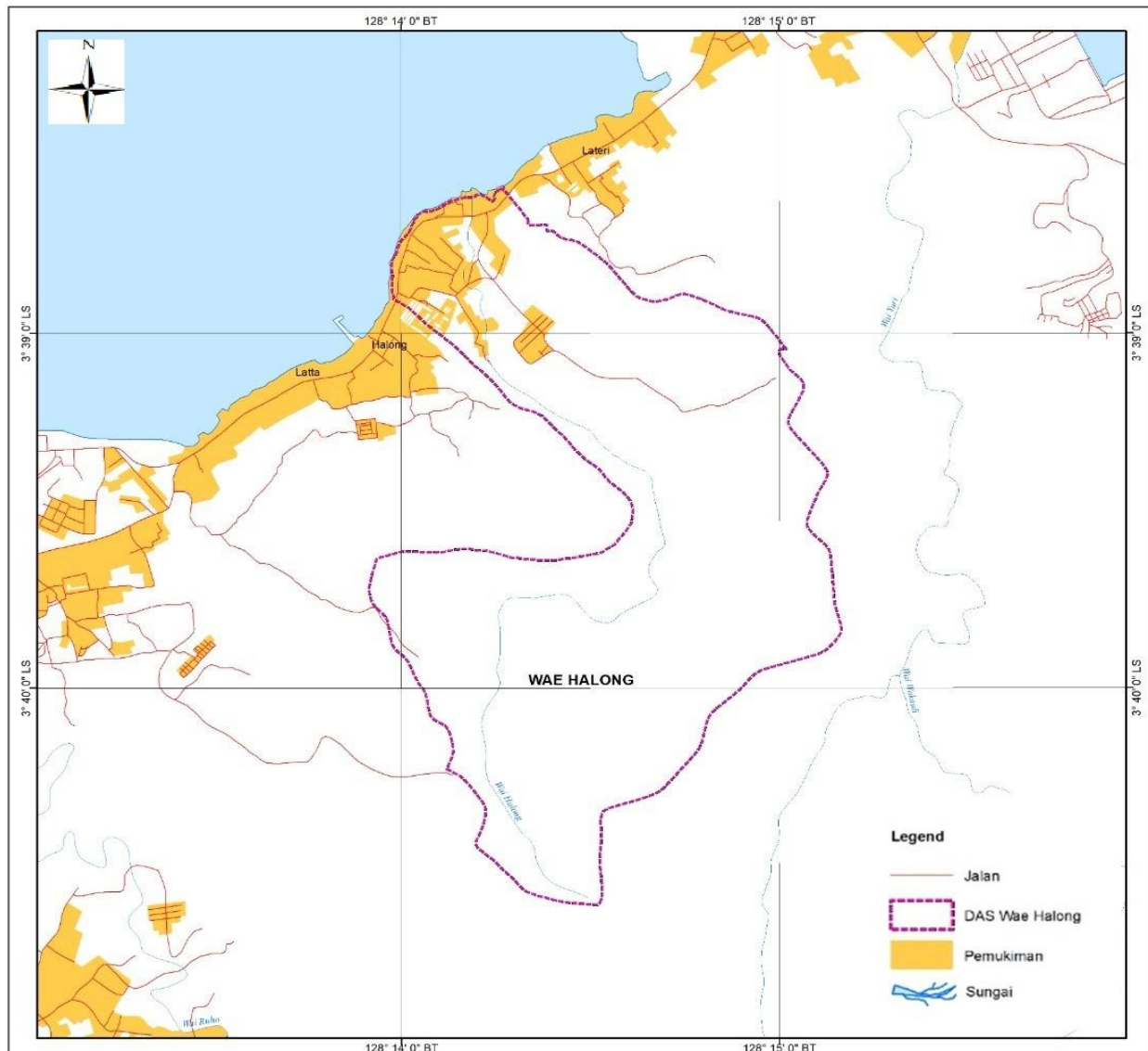
Untuk menganalisis dampak perubahan ini secara objektif, penelitian ini menggunakan pendekatan ekologi lanskap. Pendekatan ini memungkinkan analisis struktur lanaskap yang mencakup komposisi (jenis dan proporsi tutupan lahan) dan konfigurasi (susunan spasial elemen lanaskap). Kemajuan dalam ilmu pengeinderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) telah mempermudah analisis spasial multitemporal. Melalui SIG, berbagai data spasial dapat diintegrasikan, dan metrik lanaskap dapat dihitung secara kuantitatif. Metrik lanaskap, 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 lanaskap yang harus dilindungi atau direstorasi. Penelitian ini bertujuan untuk menyediakan data kuantitatif mengenai perubahan tutupan lahan dan struktur lanaskap 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°38'34.76" LS - 3°40'37.13" LS

dan 128°13'54.84" BT - 128°15'10.44" BT.
Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober s.d
November 2025.



Gambar 1. Lokasi Penelitian DAS Wae Halong

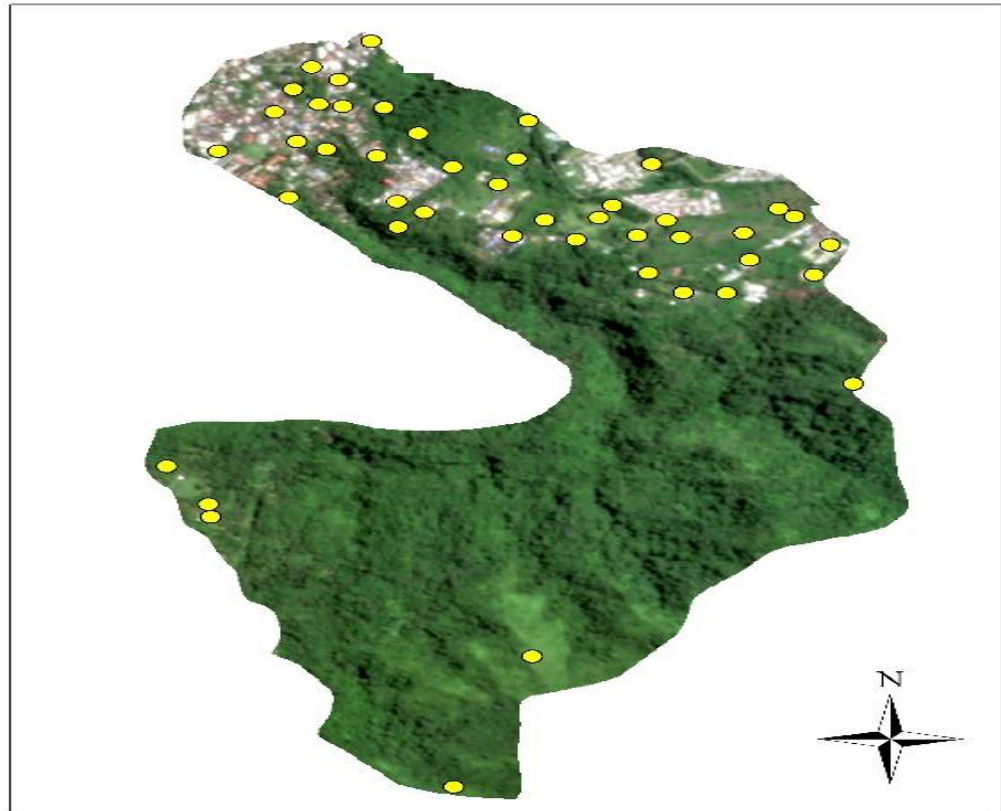
Prosedur Penelitian

Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan metode Studi Dokumentasi dengan mengumpulkan data yang berasal dari dokumen resmi yang tersedia pada instansi terkait seperti data spasial wilayah DAS Wae Halong, data spasial tutupan lahan DAS Wae Halong tahun 1996, 2003, 2011, 2017 dan 2024 diperoleh dari Kementerian Kehutanan, data statistik serta data pendukung lainnya.

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. pengecekan lapangan dilakukan pada 45 titik sampel yang penempatan titik pengecekannya dilakukan secara *stratified random sampling*.



Gambar 2. Sebaran Titik Pengecekan lapangan
Kappa Accuracy (KA)

Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan untuk menilai ketelitian 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)

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

Keterangan:

Nii = Jumlah sampel benar pada penggunaan lahan

N = Jumlah keseluruhan sampel penggunaan lahan

User's Accuracy (UA)

$$UA = \frac{nii}{X+i} \times 100\%$$

Keterangan:

nii = Jumlah sampel benar

X+i = Jumlah sampel hasil klasifikasi penggunaan lahan ke- i

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

Keterangan:

Khat = Nilai akurasi kappa

X+i = Jumlah sampel hasil klasifikasi penggunaan lahan ke- i

Xi+ = Jumlah sampel referensi penggunaan lahan ke -i

Xii = 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 Data

Analisis data dilakukan setelah dilakukan uji akurasi dan mendapatkan nilai Kappa 82,10 % yang termasuk dalam korelasi yang baik. Hasil ini menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat tinggi antara peta tutupan lahan dengan kondisi aktual. Hasil uji akurasi menunjukkan bahwa secara keseluruhan, peta tutupan lahan yang dihasilkan memiliki akurasi yang sangat baik. Data tutupan lahan yang diperoleh kemudian dilakukan analisis untuk mengetahui perubahan tutupan lahan dan struktur ekologi lanskap DAS Wae Halong.

Analisis Perubahan Tutupan Lahan

Analisis perubahan tutupan lahan dilakukan untuk mengetahui dinamika pemanfaatan ruang yang mengakibatkan perubahan tutupan lahan. Metode yang digunakan adalah metode paska klasifikasi (*post classification comparison* atau *delta classification*) yang merupakan teknik ekstraksi perubahan informasi dari-ke (*from-to*) berupa informasi tematik atau kategorial yang didasarkan pada overlay citra yang telah diklasifikasi/diinterpretasi (Jensen, 1996; Lubis, J. P. G. (2011). *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 Struktur Ekologi Lanskap

Perubahan Struktur Ekologi Lansekap dianalisis 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. Analisis terhadap perubahan struktur lanskap dilakukan dengan menginterpretasikan tren naik atau turun dari beberapa matriks kunci. Interpretasi ini penting untuk memahami apakah lanskap mengalami fragmentasi, penyatuan, peningkatan kompleksitas, atau pergeseran menuju homogenitas. Secara umum, peningkatan jumlah fragmen (NP) dan kepadatan tepi (ED) menjadi indikator kunci terjadinya fragmentasi, sementara tren sebaliknya mengindikasikan penyatuan patch. Dominasi suatu wilayah dapat dilacak melalui indeks patch terbesar (LPI), sementara kompleksitas bentuk diukur oleh Indeks edge density (ED), total edge (TE), dan landscape shape index (LSI). Konektifitas diukur dengan indeks kohesi (COHESION). Shannon's diversity index (SHDI) memberikan gambaran menyeluruh tentang keragaman tutupan lahan. Rumus perhitungan indeks matriks lanskap beserta interpretasinya dikemukakan oleh Kevin McGarigal (2015) disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan Indeks Matriks Lanskap

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

Keterangan: a_{ij} =luas patch ke- ij (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 terdiri dari 5 kelas tutupan lahan yaitu Hutan Lahan Kering Sekunder, Semak Belukar, Permukiman, Pertanian Lahan Kering campur dan Savana.

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 ≥ 0.8 menunjukkan adanya korelasi yang baik antara hasil uji akurasi interpretasi citra satelit dengan validasi lapangan, sedangkan nilai kappa ≤ 0.4 memiliki klasifikasi yang rendah. Dari hasil uji akurasi nilai Kappa 82,10% 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 82,10%, peta tutupan lahan ini memenuhi syarat untuk digunakan dalam analisis lebih lanjut, seperti analisis perubahan tutupan lahan.

Tabel 2. Confusion Matrix

Hasil Klasifikasi	Permukiman	Hasil Pengecekan			Total
		Semak Belukar	Pertanian Lahan Kering Campur	Savana	
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

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	170,94	-21,93	-11,37%
3	Pertanian Lahan Kering Campur	39,56	221,99	223,63	184,05	165,86	126,3	+319,26%
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		

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 (Sitorus, 2004).

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 relatif sebesar 319,26%. Pada periode 1996–2011, luas lahan ini meningkat dari 39,56 Ha menjadi 223,63 Ha, mencerminkan ekspansi yang signifikan. Namun, setelah tahun 2011 hingga 2024, luasnya justru menurun drastis menjadi

170,96 Ha. Penurunan ini disebabkan oleh alih fungsi lahan menjadi kawasan permukiman, serta sebagian kecil beralih menjadi savana. Fluktuasi ini menunjukkan kerentanan lahan pertanian kering campur terhadap tekanan urbanisasi dan perubahan penggunaan lahan.

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 ditunjukkan 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. Tantangan pembangunan di masa depan ialah jumlah penduduk yang terus meningkat (Prasetyani dan Widiyanto, 2013). Kondisi ini mendorong peningkatan permintaan lahan untuk perumahan, mengingat permukiman merupakan salah satu kebutuhan dasar manusia yang tidak terpisahkan dari aktivitas ekonomi, industrialisasi, dan pembangunan (Mayasari dan Ritohardoyo, 2012). Alih fungsi lahan ini menyebabkan penurunan daya dukung DAS tersebut terlihat dari berkurangnya luas tutupan hutan dan vegetasi, alih fungsi lahan yang semakin luas, debit sungai yang semakin tinggi, dan tingkat erosi, sedimentasi serta pencemaran yang tinggi (Mawardi, 2010).

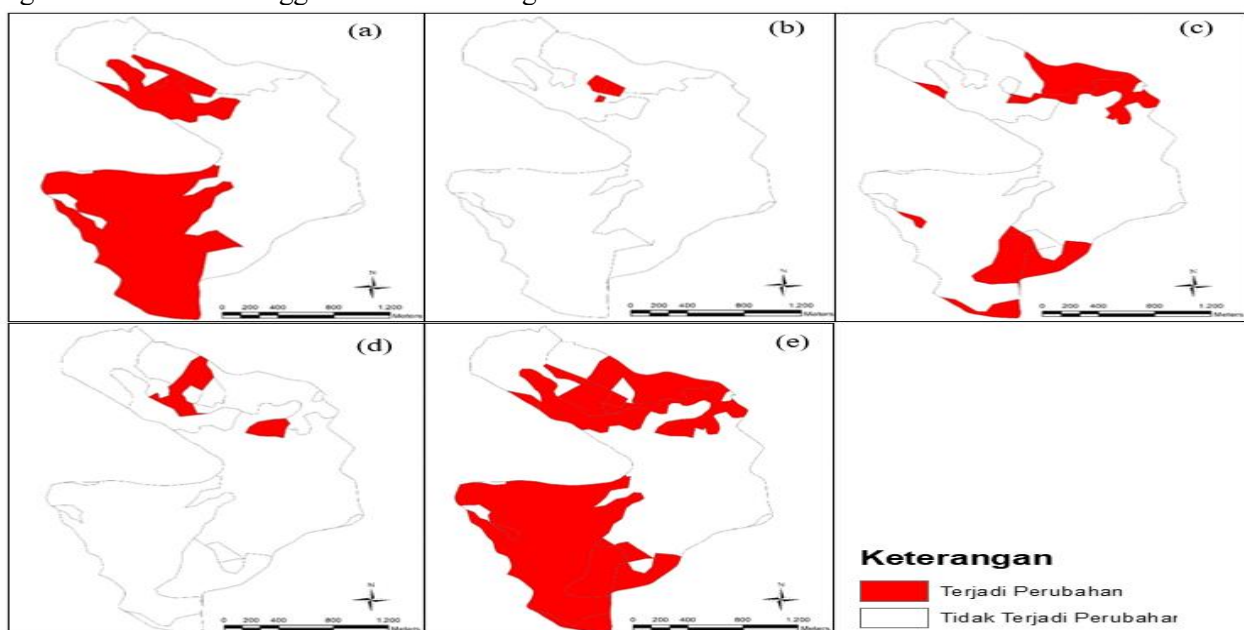
Savana muncul pada periode 2011–2017 dan mengalami kestabilan hingga tahun 2024 dengan

luasan 34,12 Ha. Kemunculan savana ini menguatkan dugaan bahwa konversi lahan pada periode tersebut tidak hanya menghasilkan kawasan permukiman, tetapi juga menyisakan lahan terbuka yang terdegradasi. Degradasi tersebut mengindikasikan penurunan kualitas tutupan lahan yang berpotensi mengurangi daya dukung lingkungan di kawasan studi.

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. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian lain di pulau-pulau kecil Indonesia, di mana perkembangan ekonomi dan urbanisasi berdampak langsung pada konversi lahan, terutama dari lahan pertanian dan hutan menjadi lahan terbangun (Latue dan Rikuasa, 2003).

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 tiga tingkat lanskap dan kelas tutupan lahan. Berdasarkan data tutupan lahan yang telah didapatkan maka dianalisis struktur ekologi lanskap pada tiga tingkat lanskap dan tutupan lahan pada tahun 1996, 2003, 2011, 2017 dan 2024 dengan hasil sebagai berikut:



Gambar 3. Peta Perubahan Tutupan Lahan DAS Wae Halong Tahun (a) Tahun 1996 – 2003, (b) Tahun 2003 – 2011, (c) Tahun 2011 – 2017, (d) Tahun 2017 – 2024, (e) Tahun 1996 – 2024

Indeks Metrik Pada Tingkat Lanskap DAS Wae Halong

Tabel 4. Indeks Merik Lanskap DAS Wae Halong

Tahun	Total Area	NP	PD	LPI	TE	ED	LSI	COHESION	SHDI
1996	456,48	10,00	2,19	41,37	13041,09	28,57	3,31	99,47	1,14
2003	456,48	9,00	1,97	42,25	12597,14	27,60	3,26	99,54	0,92
2011	456,48	11,00	2,41	41,34	13031,84	28,55	3,31	99,51	0,93
2017	456,48	13,00	2,85	34,73	16361,48	35,84	3,70	99,29	1,23
2024	456,48	14,00	3,07	35,78	17425,12	38,17	3,82	99,31	1,24

Peningkatan NP dan PD

NP yang meningkat dari 10 menjadi 4 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 dan peningkatan TE

Penurunan dominansi fragmen terbesar (LPI) dari 41,37% menjadi 35,78%. Terpecah-pecahnya suatu bidang menyebabkan peningkatan panjang batas atau panjang tepi akan mengakibatkan area patch akan terpengaruh oleh kondisi di luar patch tersebut. 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 (ED) 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 terpengaruh oleh kondisi luar yang dapat merusak bidang tersebut.

Peningkatan LSI

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

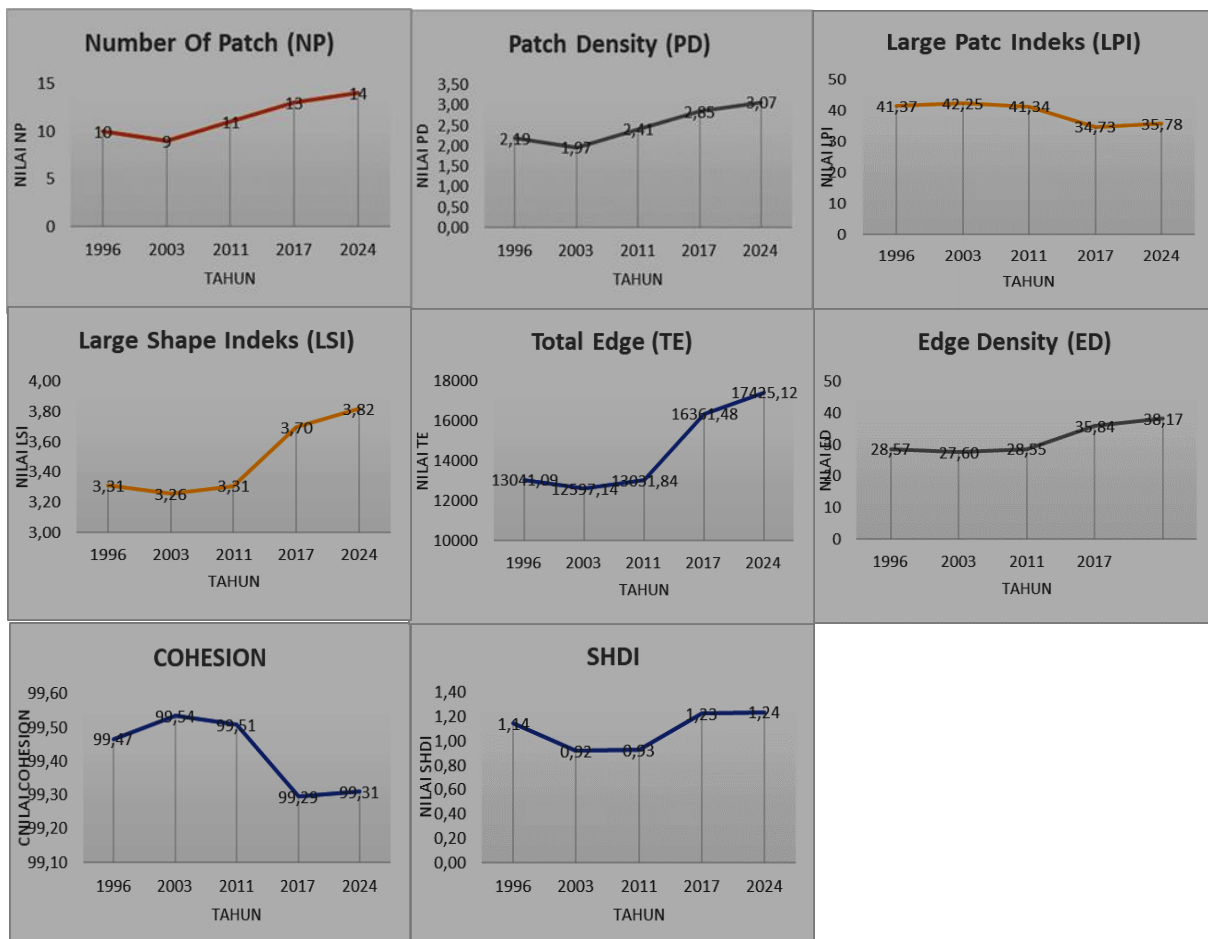
alam yang utuh dengan batas alami yang mulus. sebaliknya LSI yang tinggi menunjukkan fragmen mengalami banyak tonjolan, lekukan, saling menjari, atau terpecah seperti *puzzle*. Misalnya hutan yang tepian-tepiannya telah diganggu oleh pembukaan lahan untuk pertanian atau pemukiman. Lanskap DAS Wae Halong 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 tetap berpengaruh 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. COHESION 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.

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



Gambar 4. Diagram Perubahan Indeks Metrik Lanskap

Indeks Metrik Pada Tingkat Kelas Tutupan Lahan DAS Wae Halong

Analisis Indeks Metrik pada Tingkat Kelas Tutupan Lahan, bertujuan untuk mengkuantifikasi karakteristik spasial setiap kelas lahan di DAS Wae Halong.

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 semaksimal 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.



Gambar 5. Diagram Perubahan Indeks Metriks Lanskap Pada Kelas Pemukiman

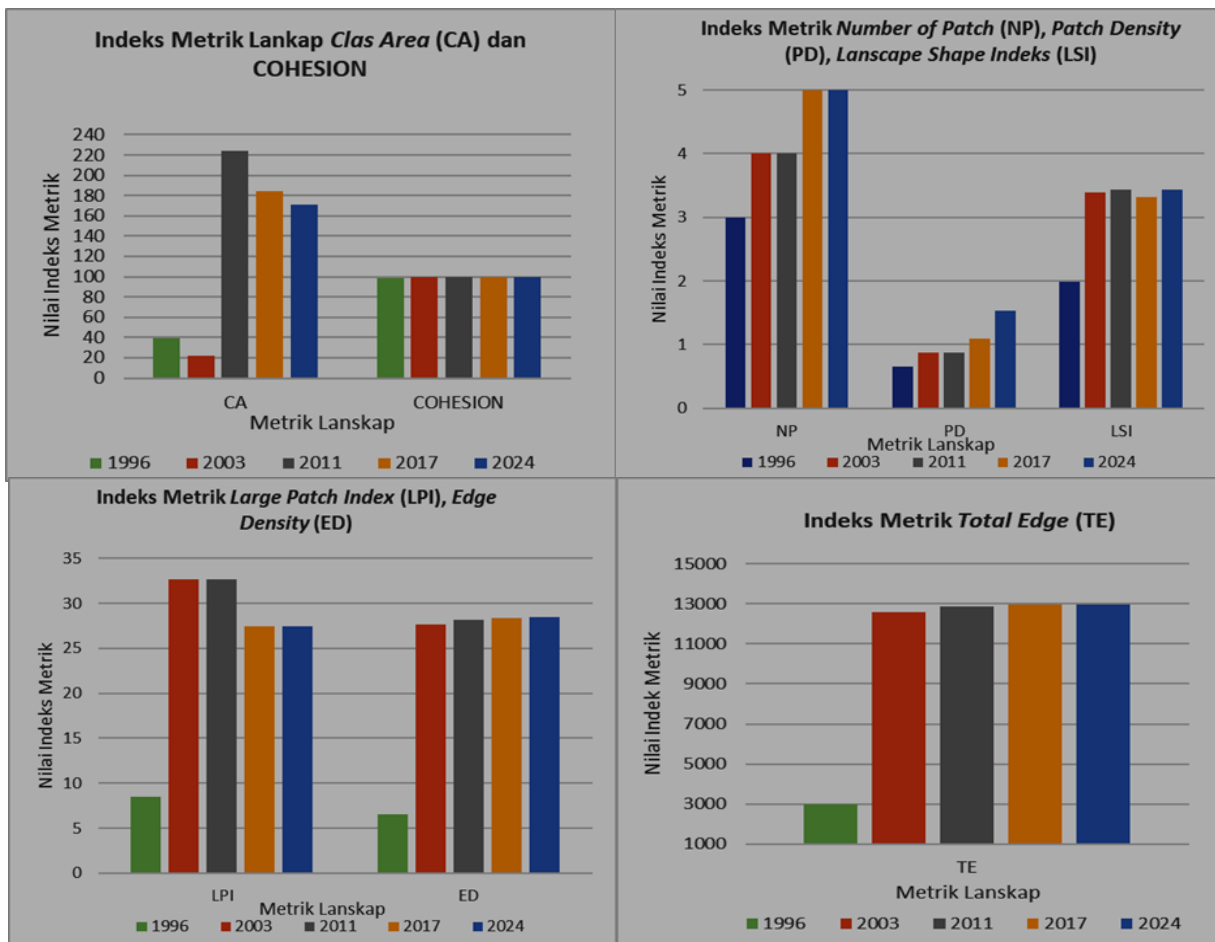
Pertanian Lahan Kering Campur

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.

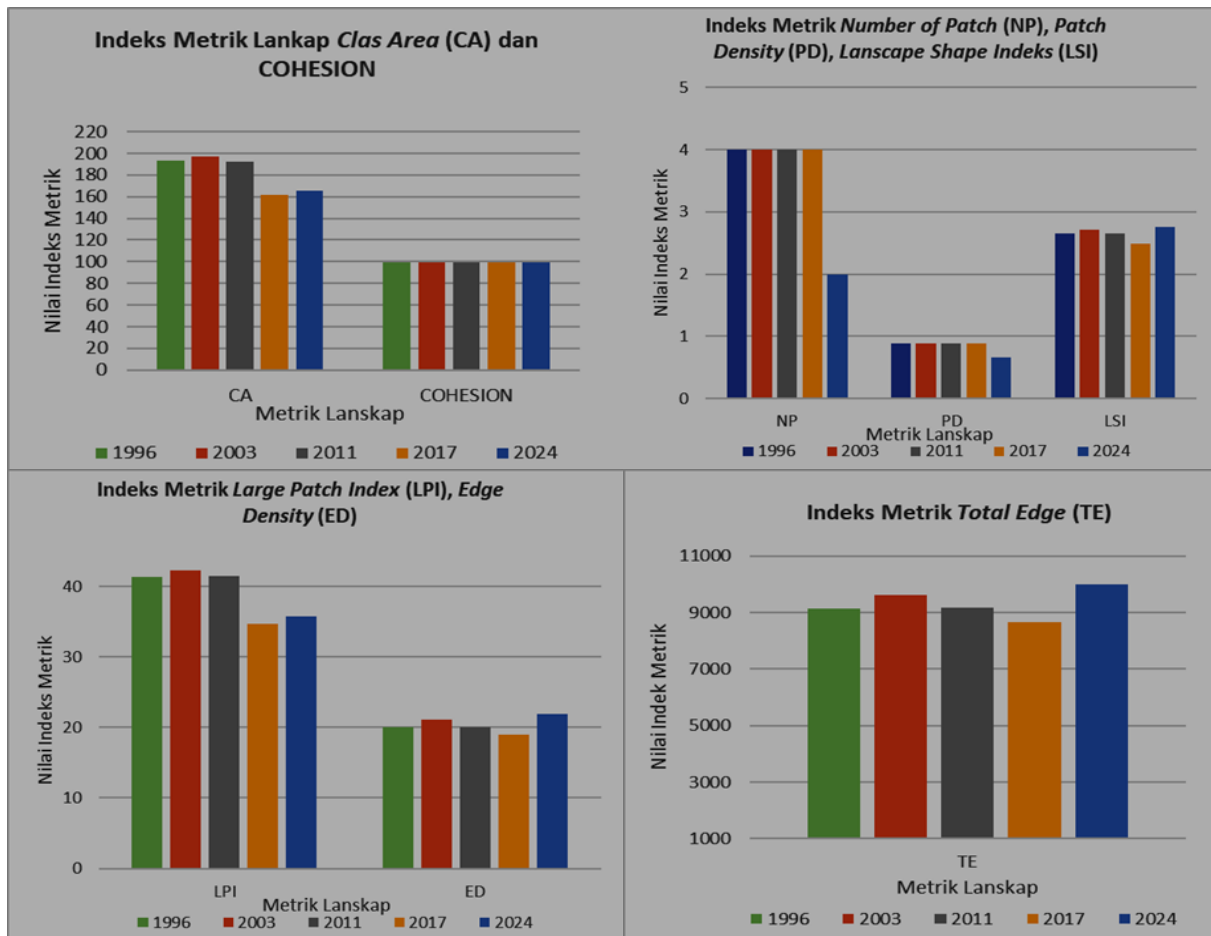


Gambar 6. Diagram Perubahan Indeks Metriks Lanskap Pada Kelas Pertanian Lahan Kering Campur Semak Belukar

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.



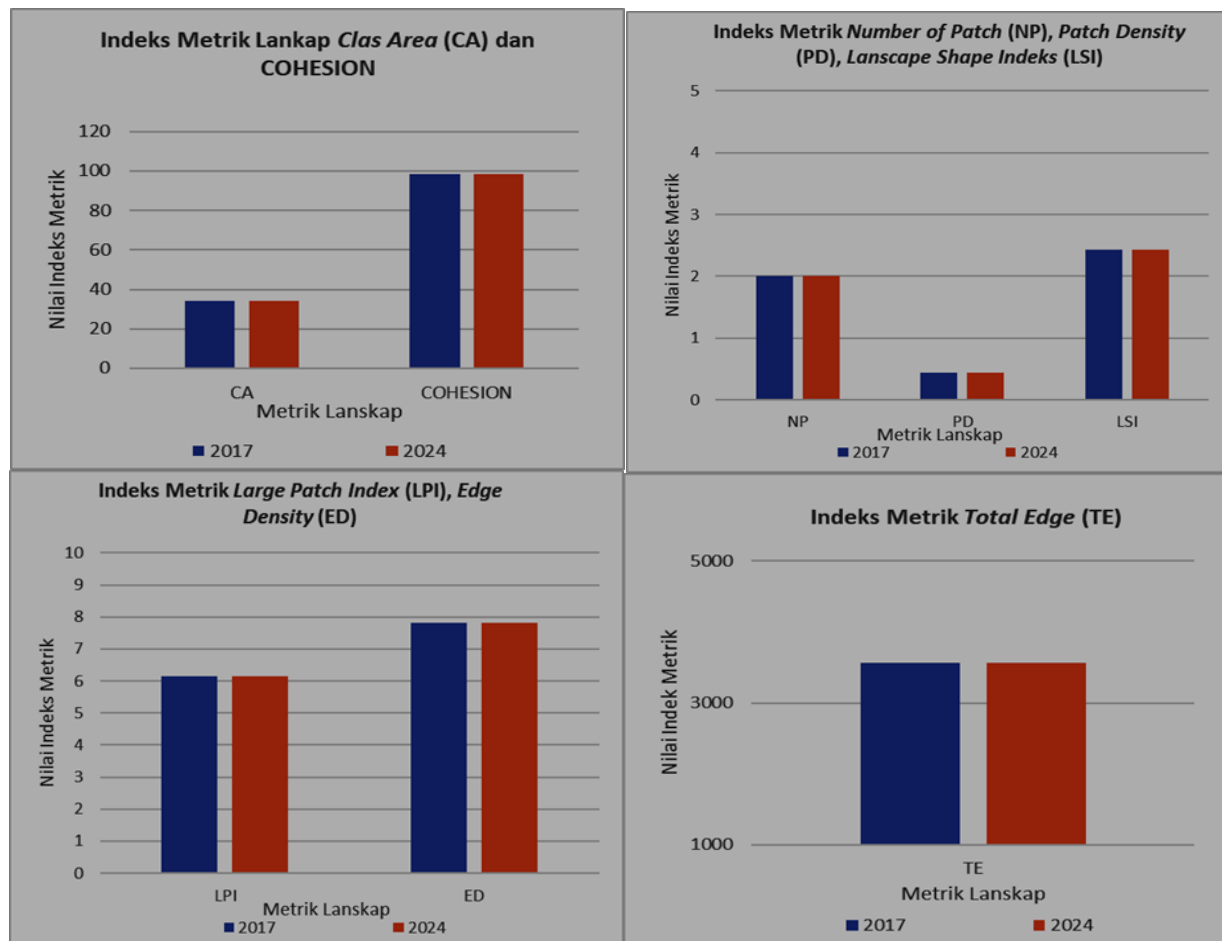
Gambar 7. Diagram Perubahan Indeks Metriks Lanskap Pada Kelas Semak Belukar

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.



Gambar 8. Diagram Perubahan Indeks Metriks Lanskap Pada Kelas Savana

Implikasi Ekologis Perubahan Struktur Ekologi 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 habitat yang ditunjukkan oleh peningkatan NP dan penurunan COHESION secara signifikan mengisolasi sisa-sisa patch vegetasi alami. Isolasi ini menghambat pergerakan spesies, mengurangi ukuran populasi efektif, dan meningkatkan efek tepi yang merugikan. Efek tepi (peningkatan TE dan ED) menyebabkan perubahan kondisi mikroiklim (suhu, kelembaban, cahaya) di tepi patch, yang dapat menurunkan kualitas habitat dan mengancam kelangsungan hidup spesies yang hidup pada lanskap DAS Wae Halong.

Peningkatan Permukiman dan hilangnya Hutan Kering Sekunder secara langsung mengurangi kemampuan DAS untuk menyerap dan menyimpan air. Peningkatan kepadatan tepi (ED) dan bentuk

patch yang tidak teratur (LSI) pada Penurunan luas hutan berbanding terbalik dengan infiltrasi dan evapotranspirasi, namun berbanding lurus dengan peningkatan debit serta aliran permukaan sedangkan konversi hutan menjadi permukiman berdampak pada peningkatan limpasan permukaan, dan konversi menjadi lahan pertanian kering memperbesar potensi erosi (Salim dkk, 2019). Permukiman meningkatkan limpasan permukaan dan mempercepat aliran air, yang berpotensi memicu banjir bandang dan erosi di wilayah hilir. Selain itu, penurunan tutupan vegetasi alami mengancam ketersediaan air tanah bagi masyarakat (Setiawan dan Sitorus, 2007).

Pergeseran dominasi lanskap dari tutupan lahan alami ke Permukiman (penurunan LPI tutupan alami) menunjukkan penurunan daya dukung ekologis DAS. Lanskap yang terfragmentasi dan didominasi oleh lahan terbangun memiliki kemampuan yang lebih rendah untuk menyediakan jasa ekosistem penting, seperti regulasi iklim mikro, pemurnian air, dan pengendalian bencana alam. Intervensi pembangunan diperlukan untuk menjaga kestabilan hubungan antara penduduk dan sumber daya wilayah. Namun dalam praktiknya,

pembangunan justru sering menjadi instrumen ketidakstabilan. Oleh karena itu, pembangunan harus mempertimbangkan daya dukung wilayah sebagai dasar perumusan kebijakan agar mampu memelihara kestabilan lingkungan dan kewilayahan. Variasi keruangan daya dukung wilayah juga menjadi komponen penting dalam perencanaan tata ruang, yang menuntut pemahaman komprehensif mengenai variasi regional serta determinan pembedanya (Muta'ali, 2012). Dalam konteks pulau kecil, penurunan daya dukung ini sangat rentan terhadap perubahan iklim dan bencana, yang pada akhirnya akan berdampak pada kesejahteraan sosial ekonomi masyarakat Kota Ambon.

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 konektifitas (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, L. (2021, 11 November). Pendekatan lanskap di Indonesia: Dari konsep hingga perangkat praktis untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan mata pencaharian. World Bank Blogs. Diakses 20 September 2025, dari <https://blogs.worldbank.org/id/eastasiapacific/pendekatan-lanskap-di-indonesia-dari-konsep-hingga-perangkat-praktis-untuk>
- Arsyad, S. (2010). Konservasi tanah dan air. IPB Press.
- Badan Pusat Statistik Kota Ambon. (2024). Kota Ambon dalam angka 2024.

- Boreel, A., Parera, L. R., & Farneubun, N. N. (2023). Lansekap di sekitar kawasan hutan lindung Gunung Nona Ambon land use change and configuration of landscape spatial pattern. *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*, 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. <https://digilib.itb.ac.id/>
- Irwanto. (2021, 5 Mei). Karakteristik pulau kecil, terisolasi dan terpencil. Diakses 5 September 2025, dari <https://irwanto.id/karakteristik-pulau-kecil/>
- Latue dan Rikuasa, 2023. Analisis spasial perubahan tutupan lahan di DAS Wae Batugantong, Kota Ambon. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* Vol 10 No 1: 149-155
- Lubis, J. P. G. (2011). Land Use and Land Cover Change Detection using Remote Sensing and Geographic Information System in Bodri Watershed, Central Java, Indonesia. *Journal of International Development and Cooperation*, 18(1), 39–46.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Maluku Tengah, 2013. Maluku Tengah Dalam Angka, Masohi.
- Mawardi, I. 2010. Kerusakan Daerah Aliran Sungai dan Penurunan Daya Dukung Sumberdaya Air di Pulau Jawa serta Upaya Penanganannya. *Jurnal Hidrosfir Indonesia*, 5(2): 1-11
- Mayasari, Margareth Ritohardoyo. 2012. Kualitas Permukiman di Kecamatan Pasar Kliwon Kota Surakarta. *Jurnal Bumi Indonesia* Volume 1 No.3 Tahun 2012 : 193-201.
- McGarigal, K. (2015). FRAGSTATS help. Department of Environmental Conservation, University of Massachusetts, Amherst.
- McGarigal, K., Cushman, S. A., & Ene, E. (2012). FRAGSTATS v4: Spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps [Perangkat lunak komputer]. University of Massachusetts, Amherst. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- 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.
- Muta'Ali Lutfi, 2012. Daya Dukung Lingkungan Untuk Perencanaan Pengembangan Wilayah. Badan Penerbit Fakultas Geografi (BPFG) Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Prasetyani, Ikha & Dodi Widiyanto. 2013. Strategi Menghadapi Ketahanan Pangan (Dilihat Dari Kebutuhan Dan Ketersediaan Pangan) Penduduk Indonesia di Masa Mendatang (Tahun 2015 ± 2040). Jurnal Bumi Indonesia Volume 2 No.2 Tahun 2013 : 227-235
- Prasetyo, L. B. (2017). Pendekatan ekologi lanskap untuk konservasi biodiversitas. Media Konservasi, 22(1), 1-8.
- Purwanti, E., Rahayu, S., & Febrianto, A. (2024). Analisis perubahan tutupan lahan pertanian dan perkebunan di Bendungan Gondang, Kabupaten Karanganyar menggunakan Google Earth. Jurnal Ilmu Lingkungan, 18(1), 45-60.
- Ramdhan, M. (2015). Patch analysis menggunakan Fragstats (Studi kasus area Jambi). Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI.
- Salim dkk, 2019. Pengaruh Perubahan Luas Tutupan Lahan Hutan Terhadap Karakteristik Hidrologi Das Citarum Hulu. Jurnal Ilmu Lingkungan, 17(2), 256-264
- Setiawan dan Sitorus, 2007. Ekologi Lanskap Boror. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Sitorus, S. R. P. (2004). Pengembangan sumber daya lahan. Institut Pertanian Bogor.