

Analisis Perubahan Tutupan Lahan di Kabupaten Kutai Kartanegara dengan Metode *Maximum Likelihood*

Muhammad Nabil, Dewi Rahmawati, dan *Dina Hayati Putri

Program Studi Ilmu Lingkungan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Mulawarman

*Corresponding: dinahayatiputri@fmipa.unmul.ac.id

Manuscript received: May 25, 2025; Revised: July 27, 2025; Accepted: August 1, 2025

ABSTRACT

Land cover change reflects the dynamics of spatial and natural resource utilization driven by human activities and natural processes. This study aims to analyze land cover change in Kutai Kartanegara Regency over the period from 2013 to 2023 using multitemporal satellite imagery and the Maximum Likelihood classification method. The classification process began with image preprocessing (geometric and radiometric corrections), selection of ROI (Region of Interest) samples, and accuracy validation using a Confusion Matrix, Overall Accuracy, and Kappa Coefficient. The results indicate a significant decrease in forest and agricultural land areas, while settlement and mining areas experienced an increase. The classification achieved an Overall Accuracy of 89.3% and a Kappa Coefficient of 0.86. This study contributes to the formulation of more sustainable spatial planning policies in regions facing land use conversion pressures.

Keywords: *Land Cover, Geographic Information System, Maximum Likelihood*

ABSTRAK

Perubahan tutupan lahan mencerminkan dinamika pemanfaatan ruang dan sumber daya alam akibat aktivitas manusia maupun proses alami. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan di Kabupaten Kutai Kartanegara selama periode 2013 hingga 2023 menggunakan citra satelit multitemporal dan metode klasifikasi *Maximum Likelihood*. Proses klasifikasi diawali dengan preprocessing citra (koreksi geometrik dan radiometrik), pemilihan sample ROI (*Region of Interest*), serta validasi akurasi menggunakan *Confusion Matrix*, *Overall Accuracy*, dan *Kappa Coefficient*. Hasil menunjukkan bahwa kelas lahan hutan dan pertanian mengalami penurunan luas signifikan, sementara permukiman dan area tambang mengalami peningkatan. Akurasi klasifikasi mencapai *Overall Accuracy* sebesar 88% dan *Kappa Coefficient* sebesar 0,86. Studi ini berkontribusi dalam penyusunan kebijakan pemanfaatan ruang yang lebih berkelanjutan di wilayah yang mengalami tekanan alih fungsi lahan.

Kata Kunci: Tutupan Lahan, Sistem Informasi Geografis, *Maximum Likelihood*

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Kutai Kartanegara, yang terletak di Provinsi Kalimantan Timur, merupakan wilayah strategis dengan potensi sumber daya alam yang tinggi, terutama di

sektor pertanian, perkebunan, dan pertambangan. Sebagai lumbung pangan regional, kabupaten ini memainkan peran penting dalam ketahanan pangan dan ekonomi daerah. Namun, pesatnya alih fungsi

lahan dalam dua dekade terakhir menimbulkan tekanan signifikan terhadap lingkungan dan tata ruang wilayah [1].

Beberapa studi sebelumnya, telah mengidentifikasi dampak ekologis dari perubahan tutupan lahan, termasuk degradasi vegetasi alami, gangguan siklus hidrologi, dan peningkatan suhu permukaan [2]. Deforestasi akibat pertambangan di Kutai Kartanegara mencapai 223,83 ha/tahun selama 2010–2016, disertai peningkatan luas area terbuka dan badan air. Meskipun upaya reklamasi telah dilakukan, hasilnya belum mampu mengimbangi laju kehilangan tutupan hutan [1].

Kendati demikian, sebagian besar kajian terdahulu masih bersifat deskriptif dan terbatas pada rentang waktu yang pendek, serta belum mengintegrasikan pendekatan spasial multitemporal dengan metode klasifikasi statistik yang robust. Selain itu, belum banyak penelitian yang mengaitkan perubahan tutupan lahan dengan implikasi terhadap ketahanan pangan dan tekanan pembangunan secara menyeluruh di tingkat kabupaten. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi gap tersebut dengan melakukan analisis spasial perubahan tutupan lahan di Kutai Kartanegara selama 2013–2023 menggunakan citra satelit dan klasifikasi *Maximum Likelihood*, serta mengevaluasi implikasinya terhadap keberlanjutan tata ruang dan lingkungan.

Penelitian mengenai perubahan tutupan lahan di Kabupaten Kutai Kartanegara telah dilakukan sebelumnya, namun umumnya terbatas pada fokus sektoral dan bersifat deskriptif tanpa analisis spasial-temporal yang komprehensif. Selain itu, validasi akurasi klasifikasi sering diabaikan, sehingga keandalan hasil belum teruji secara statistik. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan menganalisis perubahan tutupan lahan tahun 2013–2023

menggunakan metode *Maximum Likelihood* yang dilengkapi uji akurasi berupa *Confusion Matrix*, *Overall Accuracy*, dan *Kappa Coefficient*, guna menghasilkan data yang lebih akurat dan mendukung perencanaan tata ruang berkelanjutan.

2. TEORI DAN METODE

2.1 Pengertian Tutupan Lahan

Tutupan lahan merupakan material fisik yang menutupi permukaan bumi, seperti vegetasi, badan air, serta lahan terbangun. Fenomena ini mencerminkan interaksi antara proses alami dan aktivitas antropogenik, serta menjadi indikator penting dalam pemantauan perubahan lingkungan, perencanaan tata ruang, dan kajian ekosistem. Sebagai contoh, studi di Kota Semarang pada periode 2013–2022 mengidentifikasi enam kelas tutupan lahan melalui pemanfaatan citra satelit Landsat [3]. Mengingat sifatnya yang dinamis, data tutupan lahan berperan penting dalam mendukung pembangunan berkelanjutan serta upaya mitigasi dampak lingkungan, seperti fenomena pulau panas perkotaan (*urban heat island*). Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam mengenai tutupan lahan menjadi krusial dalam pengelolaan sumber daya alam dan perencanaan wilayah yang adaptif terhadap perubahan global [3].

2.2 Metode *Maximum Likelihood Classification*

Metode *Maximum Likelihood Classification* (MLC) merupakan teknik klasifikasi terbimbing yang umum digunakan dalam penginderaan jauh, dengan asumsi bahwa setiap kelas memiliki distribusi normal multivariat. MLC menghitung probabilitas posterior untuk setiap piksel berdasarkan vektor rata-rata dan matriks kovarians kelas,

kemudian mengklasifikasikannya ke kelas dengan probabilitas tertinggi [4]. Otomatisasi pemilihan sampel pelatihan menggunakan perpustakaan XML dan penerapan paralelisasi berbasis *grid* mampu meningkatkan efisiensi klasifikasi, menurunkan waktu komputasi dari 140 detik menjadi 40 detik dengan 6 node, meskipun terdapat kendala seperti piksel *null* dan keterbatasan skalabilitas [4].

2.3 Faktor Pendorong Perubahan Tutupan Lahan

Perubahan tutupan lahan di Kabupaten Seruyan selama periode 2013–2023 dipicu oleh kombinasi faktor alamiah dan aktivitas manusia, termasuk ekspansi perkebunan sawit, pertumbuhan permukiman, dan penerbitan izin usaha oleh pemerintah [5]. Alih fungsi lahan menyebabkan penurunan luas hutan rawa sekunder sebesar 20% serta peningkatan semak belukar dan semak rawa, sementara kebakaran hutan dan perubahan iklim memperburuk degradasi lahan gambut. Ketiadaan pengelolaan berkelanjutan dan intensifikasi pertanian turut mempercepat kerusakan lingkungan, sehingga diperlukan kebijakan berbasis keberlanjutan, peningkatan kesadaran masyarakat, serta riset lanjutan untuk menyeimbangkan pembangunan dan konservasi [5].

2.4 Studi Kasus Perubahan Tutupan Lahan di Kabupaten Kutai Kartanegara

Kabupaten Kutai Kartanegara merupakan sentra pertanian tanaman pangan di Kalimantan Timur yang menghadapi tantangan alih fungsi lahan akibat pertambangan, perkebunan sawit, dan pembangunan infrastruktur. Perubahan tutupan lahan pertanian tahun 2010–2020 menggunakan citra Landsat dan *supervised classification*, dengan akurasi tinggi (*overall accuracy* >85% dan Kappa >0,8) [6]. Hasilnya menunjukkan penyusutan lahan

pertanian sebesar 53.134,24 hektar, dengan konversi utama ke hutan (51,14%), lahan terbuka (24,85%), dan perkebunan (4,95%). Muara Kaman mengalami perubahan terluas, sedangkan Sanga-Sanga terkecil. Faktor utama alih fungsi meliputi rendahnya produktivitas, pendapatan petani yang tidak stabil, nilai jual lahan yang tinggi, lemahnya implementasi kebijakan LP2B, keterbatasan air, dan tingginya biaya produksi [1].

2.5 Pentingnya Analisis Perubahan Tutupan Lahan

Analisis perubahan tutupan lahan sangat penting dalam perencanaan tata ruang dan pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan, karena mampu memantau dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan seperti deforestasi dan degradasi lahan. Informasi ini mendukung penentuan zonasi penggunaan lahan yang tepat serta perumusan kebijakan mitigasi, seperti reboisasi. Teknologi penginderaan jauh, terutama melalui klasifikasi seperti MLC yang memiliki akurasi tinggi, memungkinkan pemantauan efektif di wilayah luas, sehingga berkontribusi pada konservasi ekosistem, perlindungan biodiversitas, dan pengendalian kerusakan lingkungan [6].

2.6 Metode Penelitian

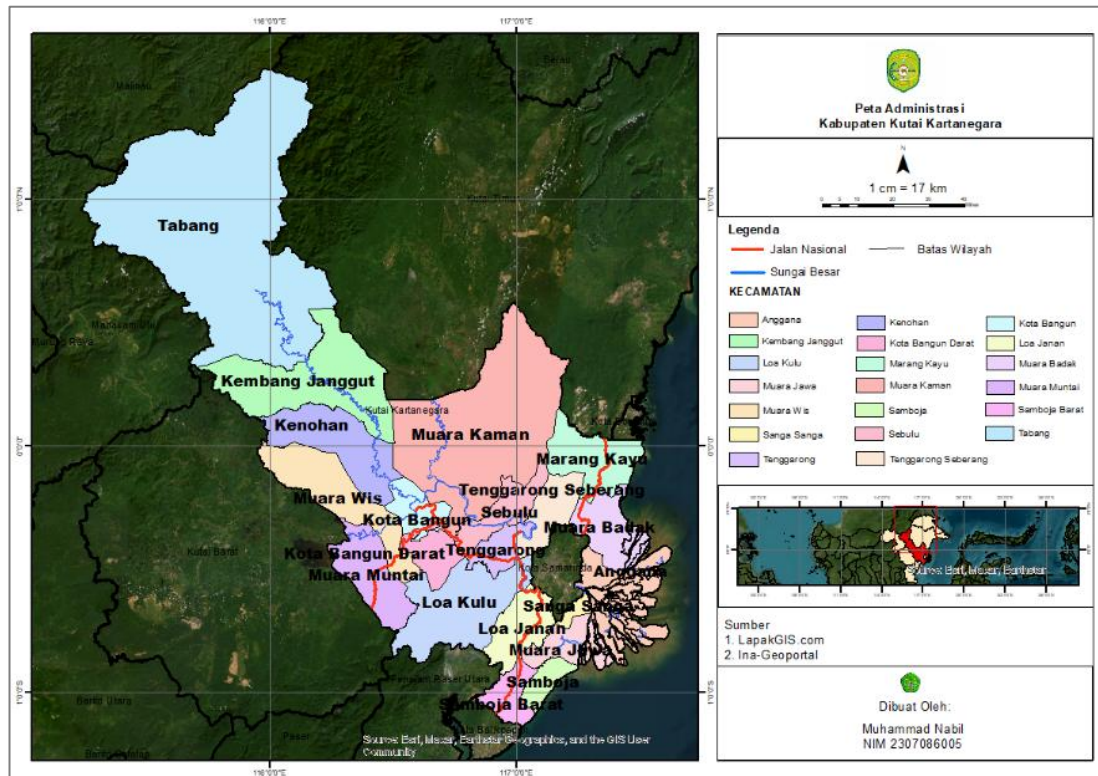
2.6.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menganalisis perubahan tutupan lahan di Kabupaten Kutai Kartanegara tahun 2013–2023 menggunakan citra Google Earth Pro dan klasifikasi MLC di ArcGIS. Tujuannya adalah mengidentifikasi pola perubahan dan kelas tutupan lahan yang paling signifikan. Hasilnya mencakup peta perubahan, tabel luasan, dan rekomendasi kebijakan. Penelitian ini bermanfaat untuk pengembangan analisis spasial dan perencanaan lingkungan.

2.6.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April 2025. Lokasi penelitian ini berada di Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Kabupaten Kutai Kartanegara

terletak pada $15^{\circ}26'28''$ BT– $117^{\circ}36'43''$ BT dan $1^{\circ}28'21''$ LU– $1^{\circ}08'06''$ LS dengan luas 27.263,10 km² (BPS, 2022). Lokasi Penelitian dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1. Peta Administrasi Kabupaten Kutai Kartanegara

2.6.3 Alat

Penelitian ini menggunakan ArcGIS Pro/ArcMap tanpa coding untuk pengolahan data geospasial. Data citra satelit diambil dari Landsat 8, sedangkan data batas administrasi diperoleh dari website LapakGIS.com dan Ina-Geoportal. B Alat pendukung meliputi Spatial Analyst Tools dan Image Classification Toolbar untuk analisis raster dan klasifikasi tutupan lahan.

2.6.5 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini terdiri dari variabel bebas yaitu tahun pengamatan (2013 dan 2023), dan variabel terikat yaitu jenis serta luas tutupan lahan di Kabupaten Kutai Kartanegara.

2.6.6 Teknik Pengumpulan Data

Data batas administrasi *shapefile* diunduh dari LapakGIS.com dan Ina-Geoportal sebagai acuan wilayah studi. Data citra satelit diperoleh dari Landsat 8 dengan penyesuaian resolusi dan waktu perekaman, kemudian diekspor untuk klasifikasi tutupan lahan.

2.6.7 Teknik Analisis Data

Proses klasifikasi citra di ArcGIS diawali dengan memasukkan citra satelit landsat 8, yang kemudian melalui tahap preprocessing untuk meningkatkan kualitas data, seperti koreksi geometrik dan radiometrik guna memastikan kesesuaian spasial dan spektral. Setelah *preprocessing*, dilakukan proses klasifikasi menggunakan fitur *Image Classification*. *Training sample* untuk

masing-masing kelas tutupan lahan dibuat dengan menandai area representatif langsung pada citra menggunakan *Training Sample Manager*. Setelah seluruh kelas memiliki jumlah sampel yang memadai dan terdistribusi merata, klasifikasi dilakukan menggunakan metode *Maximum Likelihood Classification* (MLC). Hasil klasifikasi kemudian divalidasi menggunakan *Confusion Matrix* untuk membandingkan nilai prediksi dengan referensi, serta dihitung nilai *Overall Accuracy* dan *Kappa Coefficient* guna mengukur tingkat keakuratan dan konsistensi klasifikasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Berikut adalah hasil pengolahan data klasifikasi tutupan lahan tahun 2013 dan 2023 dalam bentuk tabel, yang menunjukkan luas dan persentase masing-masing kelas tutupan lahan di Kabupaten Kutai Kartanegara:

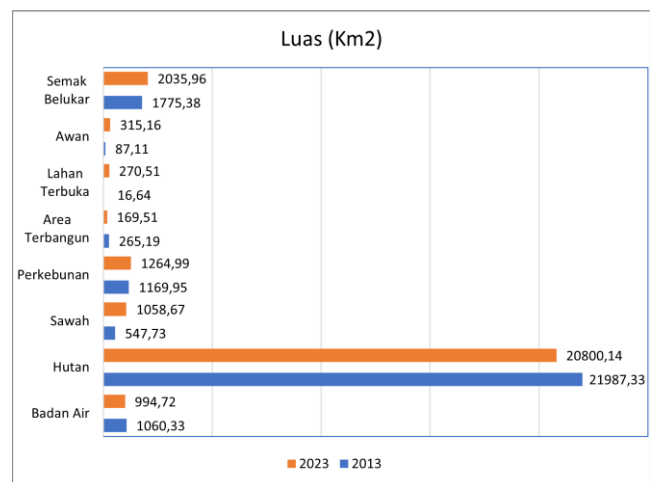
Tabel 1. Data Tutupan Lahan Kabupaten Kutai Kartanegara 2013

Klasifikasi	Luas (km ²)	Presentase
Badan Air	1060,33	3,94%
Hutan	21987,33	81,71%
Sawah	547,73	2,04%
Perkebunan	1169,95	4,35%
Area Terbangun	265,19	0,98%

Lahan Terbuka	16,64	0,06%
Awan	87,11	0,32%
Semak Belukar	1775,38	6,60%
Total	26909,66	100%

Tabel 2. Data Tutupan Lahan Kabupaten Kutai Kartanegara 2023

Klasifikasi	Luas (km ²)	Presentase
Badan Air	994,72	3,70%
Hutan	20800,14	77,30%
Sawah	1058,67	3,93%
Perkebunan	1264,99	4,70%
Area Terbangun	169,51	0,63%
Lahan Terbuka	270,51	1,01%
Awan	315,16	1,17%
Semak Belukar	2035,96	7,57%
Total	26909,66	100%

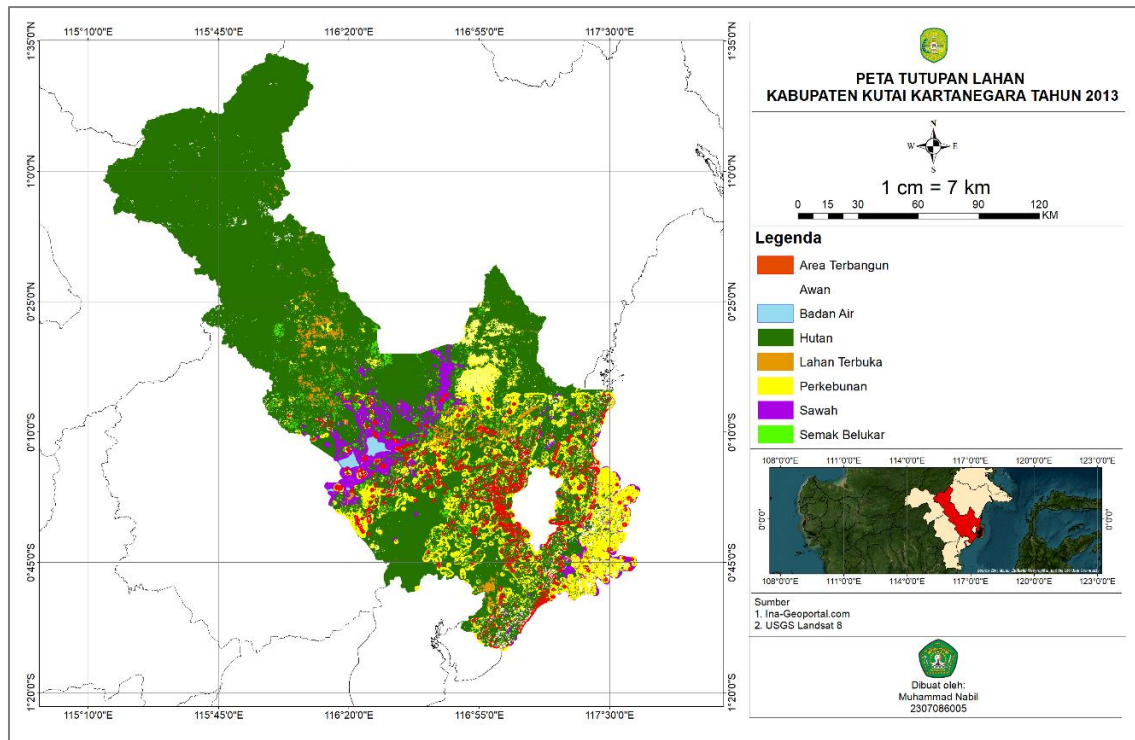


Gambar 2. Grafik Tutupan Lahan Kabupaten Kutai Kartanegara 2013-2023

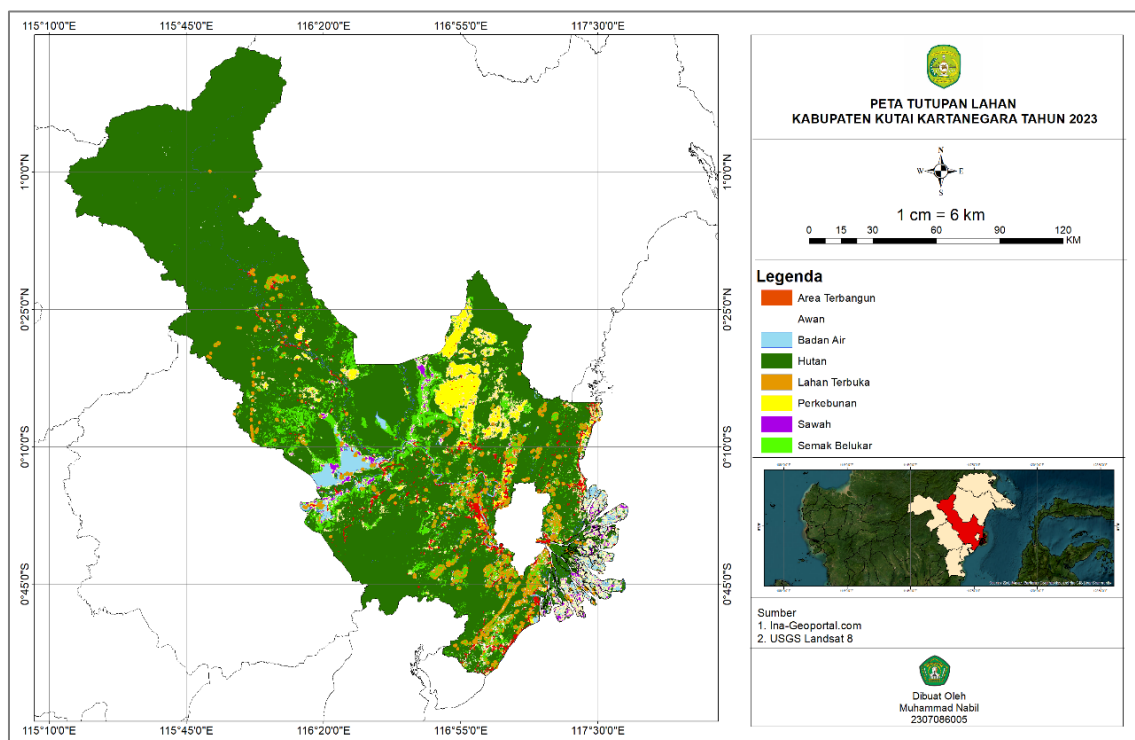
Tabel 3. Validasi Data *Confusion Matrix*

Kelas Tutupan Lahan	Hutan	Sawah	Perkebunan	Semak Belukar	Area Terbangun	Badan Air	Total	User's Accuracy (%)
Hutan	88	3	2	4	0	3	100	88.0
Sawah	2	46	1	1	0	0	50	92.0
Perkebunan	3	1	41	3	0	2	50	82.0
Semak Belukar	2	1	2	43	1	1	50	86.0
Area Terbangun	0	0	1	2	46	1	50	92.0
Badan Air	0	0	0	1	0	49	50	98.0
Total	95	51	47	54	47	56	350	
Produce r's Accuracy (%)	92.6	90.2	87.2	79.6	97.9	87.5		

Berikut adalah hasil klasifikasi citra (MLC) yang divisualisasikan dalam peta satelit tahun 2013 dan 2023 menggunakan tutupan lahan Kabupaten Kutai Kartanegara: metode *Maximum Likelihood Classification*



Gambar 3. Peta Tutupan Lahan Kabupaten Kutai Kartanegara 2013



Gambar 4. Peta Tutupan Lahan Kabupaten Kutai kartanegara 2023

Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa nilai *Overall Accuracy* sebesar 88,86% mengindikasikan bahwa sebagian besar piksel sampel telah diklasifikasikan dengan benar, mencerminkan tingkat ketepatan umum yang tinggi. Nilai ini termasuk dalam kategori sangat baik karena berada di atas ambang 85%, yang secara umum dianggap sebagai standar klasifikasi yang dapat diandalkan. Selain itu, nilai *Kappa Coefficient* sebesar

0,86 menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat tinggi antara hasil klasifikasi dengan data referensi, serta memperkuat bukti bahwa klasifikasi yang diperoleh tidak terjadi secara kebetulan. Dengan demikian, hasil klasifikasi dapat dinyatakan sangat reliabel dan layak dijadikan dasar dalam analisis perubahan tutupan lahan serta perumusan kebijakan tata ruang berkelanjutan.

Tabel 4. Matriks Perubahan Tutupan Lahan

Kelas Tutupan Lahan	Luas 2013 (km ²)	Luas 2023 (km ²)	Perubahan (km ²)	Arah Perubahan
Hutan	21.987,33	20.800,14	-1.187,19	Berkurang (deforestasi)
Badan Air	1.060,33	994,72	-65,61	Berkurang
Sawah	547,73	1.058,67	510,94	Bertambah (ekstensifikasi)
Perkebunan	1.169,95	1.264,99	95,04	Bertambah (ekspansi)
Area Terbangun	265,19	169,51	-95,68	Berkurang
Lahan Terbuka	16,64	270,51	253,87	Bertambah drastis
Semak Belukar	1.775,38	2.035,96	260,58	Bertambah (regeneratif)
Total	26.909,66	26.909,66	0	(konstan secara total)

Tabel Matriks Perubahan Tutupan Lahan 2013–2023 menunjukkan bahwa kelas tutupan lahan yang mengalami penurunan terbesar adalah hutan, berkurang sebesar 1.187,19 km² akibat deforestasi dan alih fungsi lahan. Penurunan juga terjadi pada badan air dan area terbangun. Sebaliknya, peningkatan signifikan terjadi pada sawah (510,94 km²), semak belukar, dan lahan terbuka, yang mencerminkan perluasan aktivitas pertanian serta regenerasi vegetasi alami. Pola perubahan ini mengindikasikan adanya tekanan terhadap kawasan hutan dan sumber daya air, namun juga membuka peluang pemulihan melalui vegetasi sekunder.

3.2 Pembahasan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, diketahui bahwa luas badan air di Kabupaten Kutai Kartanegara pada tahun 2013 adalah 1.060,33 km² (3,94%), sedangkan pada tahun 2023 menjadi 994,72 km² (3,70%). Penurunan ini mengindikasikan adanya penyusutan badan air akibat alih fungsi lahan, terutama untuk pertanian, perkebunan, atau kawasan terbangun [1]. Fenomena ini mencerminkan kurangnya integrasi aspek konservasi sumber daya air dalam kebijakan tata ruang, yang idealnya mengalokasikan zona lindung secara tegas di sekitar badan air. Implikasi kebijakannya adalah perlunya revisi

Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) yang lebih adaptif terhadap dinamika hidrologi dan mencantumkan koridor ekologis sebagai area konservasi strategis.

Penurunan luas hutan dari 21.987,33 km² (81,71%) pada 2013 menjadi 20.800,14 km² (77,30%) pada 2023 menunjukkan deforestasi sebesar 1.187,19 km² (4,41%). Aktivitas pertambangan, ekspansi pertanian, dan perkebunan menjadi pendorong utama [7]. Dampaknya tidak hanya bersifat ekologis seperti hilangnya keanekaragaman hayati, gangguan pada siklus air, dan meningkatnya kejadian banjir atau longsor, tetapi juga menimbulkan risiko sosial-ekonomi seperti konflik agraria dan hilangnya sumber penghidupan masyarakat adat. Oleh karena itu, kebijakan tata ruang seharusnya tidak sekadar mengakomodasi pertumbuhan ekonomi, tetapi juga menetapkan kawasan hutan lindung yang tidak dapat dialihfungsikan, serta memperkuat mekanisme pengawasan melalui teknologi pemantauan spasial dan partisipasi masyarakat lokal.

Peningkatan luas sawah dari 547,73 km² (2,04%) menjadi 1.058,67 km² (3,93%) merupakan hasil dari kebijakan intensifikasi dan ekstensifikasi pertanian, termasuk konversi lahan gambut dan semak belukar [8]. Secara kebijakan, ekspansi ini mendukung ketahanan pangan, namun berpotensi mengorbankan keberlanjutan lingkungan jika tidak dikontrol. Dampaknya antara lain perubahan pola aliran air, emisi gas rumah kaca dari pengeringan lahan basah, serta potensi penurunan kesuburan tanah. Oleh karena itu, pemerintah daerah perlu mendorong sistem pertanian berkelanjutan seperti paludikultur di lahan gambut, dan memperkuat regulasi konversi lahan melalui instrumen perizinan berbasis AMDAL.

Perkebunan mengalami peningkatan dari 1.169,95 km² (4,35%) menjadi 1.264,99 km²

(4,70%), didorong oleh permintaan komoditas seperti kelapa sawit dan karet [9]. Ekspansi perkebunan ini mencerminkan model pembangunan ekonomi ekstraktif yang masih dominan, yang berorientasi pada pasar global dan sering mengabaikan daya dukung dan daya tampung lingkungan. Kebijakan reformasi tata ruang harus mengedepankan prinsip ekoregion, dengan pengendalian ketat terhadap pembukaan lahan di kawasan dengan nilai konservasi tinggi. Strategi jangka panjang juga perlu mencakup sertifikasi berkelanjutan (seperti RSPO) dan insentif bagi perusahaan yang menerapkan praktik agroforestri.

Menariknya, terdapat penurunan area terbangun dari 265,19 km² (0,98%) menjadi 169,51 km² (0,63%), yang justru disebabkan oleh konversi lahan permukiman menjadi perkebunan [9]. Hal ini menunjukkan bahwa kebijakan tata ruang belum mampu menjamin keseimbangan antara pembangunan permukiman dan ekspansi ekonomi berbasis lahan. Penurunan ini bisa mengindikasikan melemahnya layanan dasar permukiman di daerah pedesaan atau peri-urban, dan menimbulkan risiko terhadap keterjangkauan hunian dan akses infrastruktur. Pemerintah daerah perlu menetapkan zona pertumbuhan terarah (*growth centers*) serta mengadopsi pendekatan *compact city* untuk menghindari ekspansi horizontal yang tidak terkendali.

Peningkatan tutupan semak belukar dari 1.775,38 km² (6,60%) menjadi 2.035,96 km² (7,57%) dapat dimaknai sebagai peluang untuk pemulihan ekosistem secara alami [10]. Kawasan ini bisa diarahkan menjadi zona rehabilitasi ekosistem melalui skema restorasi berbasis komunitas seperti *community forestry* atau *payment for ecosystem services* (PES). Strategi ini dapat mengatasi degradasi lingkungan secara bertahap sembari memperkuat peran masyarakat dalam pengelolaan lahan berkelanjutan.

Secara keseluruhan, perubahan tutupan lahan di Kabupaten Kutai Kartanegara menunjukkan tekanan tinggi terhadap ekosistem, terutama hutan dan badan air, akibat kebijakan pembangunan yang belum sepenuhnya mempertimbangkan daya dukung lingkungan [11]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan kebijakan tata ruang yang lebih transformatif dengan revisi RTRW berbasis jasa ekosistem untuk memetakan fungsi ekologis kritis; peningkatan instrumen regulasi lingkungan seperti KLHS, AMDAL, dan pemantauan pasca-operasi; implementasi zonasi konservasi dan produksi yang lebih ketat serta larangan pembukaan lahan pada kawasan lindung; penguatan mekanisme insentif dan disinsentif, misalnya insentif fiskal untuk pelaku usaha yang menerapkan prinsip *green economy*; serta peningkatan kapasitas masyarakat.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis, tutupan lahan hutan merupakan kelas yang paling dominan mengalami perubahan, yaitu menurun dari 21.987,33 km² (81,71%) pada 2013 menjadi 20.800,14 km² (77,30%) pada 2023 atau berkurang 1.187,19 km² (4,41%). Penurunan ini disebabkan oleh ekspansi perkebunan, pertambangan, dan pembangunan permukiman, yang berdampak pada terganggunya fungsi ekologis hutan seperti pengaturan iklim, penyimpanan karbon, pelestarian keanekaragaman hayati, serta keseimbangan siklus hidrologi. Untuk merespons tekanan ini, diperlukan kebijakan tata ruang yang menempatkan kawasan hutan lindung sebagai prioritas mutlak dalam zonasi, disertai moratorium pembukaan lahan baru pada kawasan bernilai konservasi tinggi. Rehabilitasi hutan melalui reforestasi berbasis masyarakat dan pemberian insentif berbasis jasa lingkungan (seperti *payment for*

ecosystem services) juga penting dilakukan untuk mengembalikan fungsi ekologis yang hilang. Sebagai tindak lanjut, riset lanjutan perlu diarahkan pada evaluasi efektivitas program rehabilitasi yang berjalan serta pengembangan model prediktif perubahan tutupan lahan untuk mendukung perencanaan tata guna lahan yang adaptif dan berkelanjutan.

5. REFERENSI

- [1] Pratomo, R. A., & Wijayanti, E. S. (2023). Strategi Pengendalian Alih Fungsi Lahan Pertanian Tanaman Pangan di Kabupaten Kutai Kartanegara. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, 19(3), 390-408.
- [2] Safitri, R., Marzuki, M., Shafii, M. A., Yusnaini, H., & Ramadhan, R. (2022). Effects of Land Cover Change and Deforestation on Rainfall and Surface Temperature in New Capital City of Indonesia. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(6), 2849-2858.
- [3] Gifari, O. I., Kusriani, K., & Yuana, K. A. (2023). Analisis Perubahan Tutupan Lahan Menggunakan Metode Klasifikasi Terbimbing pada Data Citra Penginderaan Jauh Kota Samarinda-Kalimantan Timur. *Informatika Mulawarman: Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 18(2), 71-77.
- [4] Sun, J., Yang, J., Zhang, C., Yun, W., & Qu, J. (2013). Automatic Remotely Sensed Image Classification in a Grid Environment Based on the Maximum Likelihood Method. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(3-4), 573-581.
- [5] Kesaulija, S. E., Murdjoko, A., & Moeljono, S. (2020). Analisis Perubahan Tutupan Lahan di Kabupaten Manokwari Selatan. *Cassowary*, 3(2), 141-152.
- [6] Purnomo, A. A., Junitha, I. K., & Suartini, N. M. (2015). Variasi Spesies Diatom

- pada Tipe Perairan Berbeda untuk Kepentingan Forensik sebagai Petunjuk Kematian Akibat Tenggelam. *Jurnal Simbiosis*, 3(1), 247-257.
- [7] Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., ... & Townshend, J. R. (2013). High-resolution Global Maps of 21st-century Forest Cover Change. *Science*, 342(6160), 850-853.
- [8] Hidayati, F., Yonariza, Y., Nofialdi, N., & Yuzaria, D. (2019, January). Intensifikasi Lahan melalui Sistem Pertanian Terpadu: Sebuah tinjauan. *In Unri Conference Series: Agriculture and Food Security*, 1, 113-119.
- [9] Amalia, R., Dharmawan, A. H., Prasetyo, L. B., & Pacheco, P. (2019). Perubahan Tutupan Lahan Akibat Ekspansi Perkebunan Kelapa Sawit: Dampak Sosial, Ekonomi dan Ekologi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1), 130-139.
- [10] Azham, Z. (2015). Estimasi Cadangan Karbon pada Tutupan Lahan Hutan Sekunder, Semak dan Belukar di Kota Samarinda. *Agrifor: Jurnal Ilmu Pertanian dan Kehutanan*, 14(2), 325-338.
- [11] Nuraeni, R., Sitorus, S. R. P., & Panuju, D. R. (2017). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan dan Arah Penggunaan Lahan Wilayah di Kabupaten Bandung. *Buletin Tanah dan Lahan*, 1(1), 79-85.