

PREDIKSI PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN MENGGUNAKAN CITRA SATELIT PENGINDERAAN JAUH PADA KAWASAN DESTINASI PARIWISATA SUPER PRIORITAS: STUDI KASUS KECAMATAN KOMODO, KABUPATEN MANGGARAI BARAT, NUSA TENGGARA TIMUR

Elisa Imania^{1*}, Raka Ikmana²

¹Badan Pusat Statistik Kabupaten Manggarai Barat, Indonesia

²Badan Pusat Statistik Kabupaten Kotawaringin Timur, Indonesia

*Korespondensi Penulis: E-mail address: elisaimania@bps.go.id

ARTIKEL INFO

Abstract

Article history:

Received 04 Feb, 2026

Revised 27 April, 2026

Accepted 25 Juny, 2026

Published 30 Juny, 2026

Introduction/Main Objectives: Labuan Bajo is designated as one of Indonesia's five super priority tourism destinations. **Background Problems:** Population growth and rapid development of the Labuan Bajo tourism destination have had a significant spatial impact on the Manggarai Barat Regency. **Novelty:** This study aims to analyze land cover changes in the Komodo District, Manggarai Barat Regency, during the period 2022-2024, predict land cover in 2027, and then analyze its relationship with sustainable tourism development. **Research Method:** The data used in this study consists of land cover maps, road maps, and National Digital Elevation Model maps sourced from ESRI through Living Atlas and the Geospatial Information Agency. Land change potential modelling was conducted using an Artificial Neural Network with a Multi-Layer Perceptron structure. **Finding/Results:** The land cover change modelling shows that 90.76% of the land cover can be mapped correctly. The validity test results also indicate that the model performs very well with a Kappa value of 0.86009, making it suitable for predicting future land cover. The 2027 land cover prediction shows that compared to 2022, trees will decrease by 707.70 ha, while built-up area and rangeland will increase by 445.75 ha and 340.24 ha, respectively.

Keywords:

Artificial Neural Network; Cellular Automata; Land Cover Change; Land Cover Prediction; Molusce; Remote Sensing

1. Pendahuluan

Perpres Nomor 12 Tahun 2025 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional Tahun 2025-2029 menyebutkan bahwa pengembangan sektor pariwisata merupakan salah satu program prioritas nasional. Dalam upaya pengembangan tersebut, disebutkan bahwa salah satu program utama dari pemerintah Indonesia adalah percepatan pembangunan destinasi pariwisata prioritas Labuan Bajo. Kawasan

pariwisata Labuan Bajo berlokasi di Kabupaten Manggarai Barat, Nusa Tenggara Timur.

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Manggarai Barat, dalam kurun waktu 2020 sampai dengan 2024, jumlah penduduk di Kabupaten Manggarai Barat mengalami peningkatan, yaitu bertambah sebanyak 25,4 ribu jiwa dari 256,3 ribu jiwa menjadi 281,7 ribu jiwa. Selain itu, perkembangan ekonomi di Kabupaten Manggarai Barat juga mengalami tren positif sepanjang lima tahun terakhir, dengan peningkatan yang signifikan sebesar 4,03 persen dari 0,9 persen di tahun 2020 menjadi 4,93 persen pada tahun 2024 (BPS Kabupaten Manggarai Barat, 2025).

Pertumbuhan ekonomi dan penduduk merupakan dua hal yang mendorong terjadinya perubahan penggunaan lahan atau perluasan wilayah kota (Mahtta et al., 2022). Menurut Buraerah et al. (2020), kedua faktor tersebut dapat berpengaruh terhadap peningkatan kebutuhan lahan selain pertanian. Luas lahan yang bersifat tetap, sementara kebutuhan manusia yang terus bertambah, mendorong permintaan akan lahan dan perpindahan fungsi lahan meningkat (Hapsary et al., 2021). Aktivitas manusia juga banyak mengubah penggunaan lahan dari alam ke fungsi yang lebih intensif, termasuk pembangunan permukiman dan infrastruktur (Foley et al., 2009).

Sebagai salah satu dari lima Destinasi Super Prioritas, percepatan pembangunan destinasi pariwisata Labuan Bajo membawa dampak transformasi spasial yang signifikan terhadap kawasan Kabupaten Manggarai Barat, seperti pengembangan infrastruktur pendukung pariwisata, termasuk hotel, restoran, dan infrastruktur lainnya (Pertwi & Saputra, 2024). Akan tetapi, perubahan penggunaan lahan yang tidak terkendali dapat menimbulkan beberapa permasalahan lingkungan, seperti bencana alam, degradasi lingkungan, berkurangnya tutupan vegetasi, dan sebagainya (Septriana et al., 2020; Ramadhan et al., 2016; Sanjesti & Silviana, 2025). Oleh karena itu, diperlukan kajian secara komprehensif mengenai pola perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Manggarai Barat sebagai dasar perencanaan pembangunan berkelanjutan.

Teknologi *remote sensing* dan Sistem Informasi Geografis (SIG) telah banyak digunakan dan terbukti efisien dalam menganalisis perubahan lahan. Melalui analisis citra satelit *multi-resolution*, *multispectral*, dan *multitemporal*, informasi terkait perubahan penggunaan lahan dapat diidentifikasi dan dipetakan secara komprehensif dan akurat (Rimba et al., 2020).

Beberapa penelitian terdahulu telah menggunakan teknologi penginderaan jauh untuk melakukan pemetaan dan analisis perubahan penggunaan lahan. Penelitian yang dilakukan oleh Hapsary et al. (2021) menggunakan pendekatan *Artificial Neural Network* (ANN) dan regresi logistik untuk melakukan analisis perubahan penggunaan lahan di Kota Balikpapan pada periode tahun 2009-2019. Penelitian tersebut menghasilkan peta prediksi penggunaan lahan tahun 2019 berdasarkan data tahun 2009 dan 2014, dengan hasil prediksi penggunaan lahan paling dominan di Kota Balikpapan adalah hutan. Rahmah et al. (2020) melakukan pemodelan prediksi perubahan lahan di

Kota Semarang dengan metode ANN dan *Cellular Automata*. Penelitian ini menghasilkan peta prediksi penggunaan lahan tahun 2026 berdasarkan data tahun 2010 dan 2014. Hasil dari penelitian ini juga menunjukkan bahwa pemodelan perubahan penggunaan lahan dengan ANN dan *Cellular Automata* menghasilkan model dan prediksi yang cukup sesuai dengan tingkat kepercayaan lebih dari 60 persen. Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh Prabandari dan Wibowo (2024) memanfaatkan Citra *Google Earth* untuk analisis *spatio-temporal* perubahan tutupan lahan di sekitar Bandar Udara Komodo, Nusa Tenggara Timur berdasarkan 3 tahun data, yaitu tahun 2013, 2018, dan 2023. Penelitian tersebut menghasilkan 4 (empat) klasifikasi tutupan lahan dengan citra permukaan bumi yang memiliki resolusi yang baik. Akan tetapi, penelitian/ ini belum bisa memprediksi perubahan tutupan lahan untuk mengantisipasi tidak terkendalinya alih fungsi lahan, khususnya di Kabupaten Manggarai Barat. Sementara itu, hasil prediksi tutupan lahan sangat krusial sebagai bahan evaluasi paruh waktu atau *midterm review* RPJMN 2025-2029 (Perpres No.12 Tahun 2025) atas dampak percepatan pembangunan Destinasi Super Prioritas Labuan Bajo di kawasan Kecamatan Komodo.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan di kawasan Kecamatan Komodo, Kabupaten Manggarai Barat dalam kurun waktu 2022-2024, memprediksi tutupan lahan pada tahun 2027 menggunakan pemodelan ANN dan *Cellular Automata*, kemudian menganalisis keterkaitan hasil prediksi perubahan tutupan lahan dengan pembangunan pariwisata berkelanjutan.

2. Metodologi

2.1. Bahan dan Sumber Data

Lokasi penelitian ini adalah beberapa desa/kelurahan di kawasan Kecamatan Komodo, yaitu Kelurahan Labuan Bajo, Desa Batu Cermin, Desa Wae Kelambu, Desa Goron Talo, dan Desa Golo Bilas. Adapun data yang digunakan dalam kajian ini terdiri dari peta tutupan lahan, peta jalan, dan peta *Digital Elevation Model* Nasional (Demnas) yang sumbernya ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Jenis dan Sumber Data Penelitian Perubahan Tutupan Lahan di Kawasan Kecamatan Komodo

Data	Jenis Data	Sumber
Peta Tutupan Lahan Tahun 2023	Raster	https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer/
Peta Jalan Tahun 2022	Vektor	https://tanahair.indonesia.go.id/
Peta Demnas	Raster	https://tanahair.indonesia.go.id/
Peta Batas Wilayah Administrasi	Vektor	https://tanahair.indonesia.go.id/

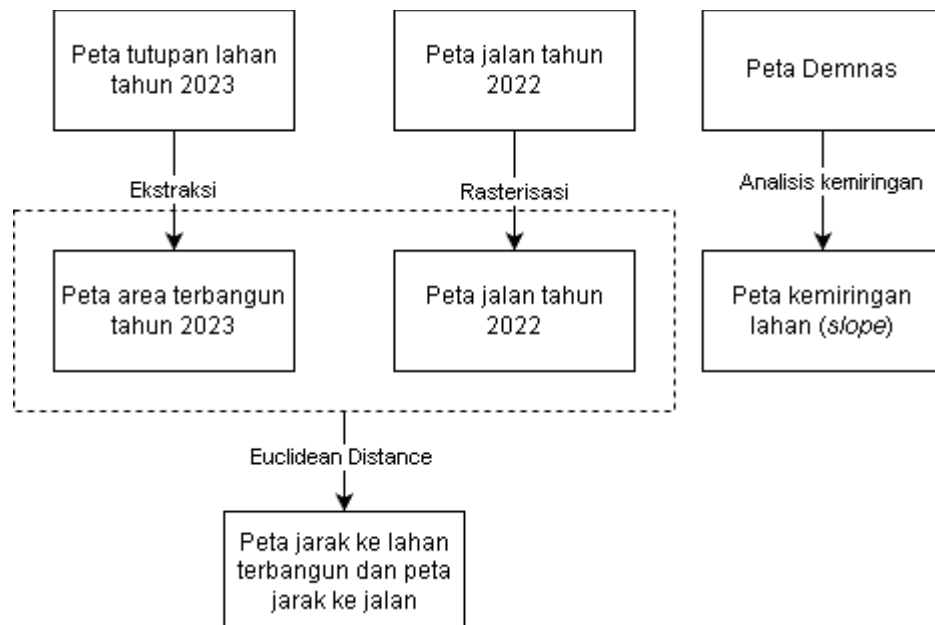
Sumber: *Environmental Systems Research Institute (ESRI)* dan *Badan Informasi Geospasial (BIG)*, diolah oleh penulis (2026)

2.2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dalam 2 tahapan utama, yaitu:

1) Pengolahan Variabel Pendorong

Proses pemodelan prediksi tutupan lahan memerlukan sejumlah variabel pendorong yang dapat mempengaruhi perubahan dari tutupan lahan tersebut. Dalam kajian ini beberapa variabel pendorong yang digunakan, yaitu jarak ke area terbangun, jarak ke jalan, dan kemiringan. Penggunaan variabel ini merujuk ke beberapa studi yang telah dilakukan sebelumnya dengan beberapa modifikasi (Muhammad et al., 2022; Rahmah et al., 2020; Iskandar et al., 2024). Adapun proses pengolahan variabel pendorong ditunjukkan oleh diagram alur pada Gambar 1.



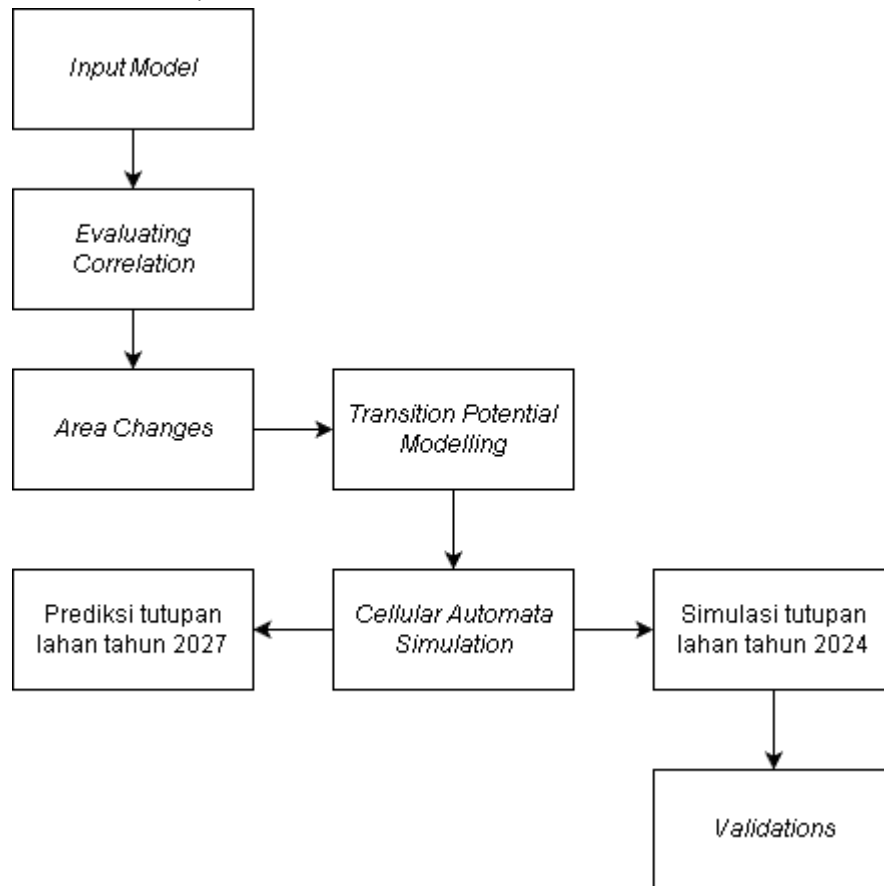
Gambar 1. Tahapan Pengolahan Variabel Pendorong

Proses pengolahan variabel pendorong dimulai dengan melakukan ekstraksi pada peta tutupan lahan untuk mendapatkan peta area terbangun saja. Proses ini dilakukan menggunakan fitur *raster calculator* pada aplikasi *Quantum Geographic Information System (QGIS)* dengan menerapkan ekspresi logika untuk menyeleksi piksel berdasarkan kode kelas area terbangun. Kemudian melakukan proses rasterisasi pada peta jalan untuk mengonversi peta jalan dari bentuk *vector* ke dalam bentuk raster, proses ini menggunakan fitur *Rasterize (vector to raster)* pada QGIS. Lalu melakukan analisis kemiringan pada peta Demnas untuk mendapatkan peta kemiringan lahan. Setelah proses ekstraksi, rasterisasi, dan analisis kemiringan dilakukan, tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan *euclidean distance* terhadap peta area terbangun dan peta jalan. *Euclidean distance* merupakan jarak

lurus terdekat yang dihitung dari satu pusat sel menuju pusat sel lain (Wibowo & Harintaka, 2023). Hasil perhitungan ini kemudian akan menghasilkan peta jarak ke area terbangun dan peta jarak ke jalan.

2) Pemodelan dan Prediksi Perubahan Tutupan lahan

Pemodelan dilakukan pada software QGIS menggunakan *plugin* MOLUSCE. Pada *plugin* ini tahapan pemodelan dan prediksi tutupan lahan ditunjukkan oleh Gambar 2 (Rahmah et al., 2020).



Gambar 2. Tahapan Pemodelan dan Prediksi Tutupan Lahan

1. Input Model

Pada tahap ini peta tutupan lahan *initial* dan *final* serta beberapa variabel pendorong dimasukkan ke dalam aplikasi QGIS. Peta *initial* adalah peta yang menggambarkan kondisi sebelum, sementara peta *final* menggambarkan kondisi sesudah guna mengidentifikasi perubahan tutupan lahan. Dalam penelitian ini, peta tutupan lahan *initial* adalah peta tahun 2022, sementara peta tutupan lahan *final* adalah peta tahun 2023. Pemilihan kedua tahun tersebut dilakukan agar model dapat mempelajari pola perubahan tutupan lahan sebelum dilakukan prediksi ke tahun berikutnya. Meskipun tersedia peta tahun 2024, peta ini tidak digunakan sebagai input pelatihan karena dijadikan sebagai data uji untuk mengevaluasi kinerja model secara independen. Dengan demikian, hasil prediksi dapat dibandingkan dengan kondisi aktual tahun 2024 sebagai bentuk validasi terhadap ketepatan model.

2. *Evaluating Correlation*

Tahap *evaluating correlation* dilakukan untuk mengukur kekuatan hubungan antar variabel pendorong menggunakan metode korelasi *Pearson*.

3. *Area Changes*

Pada tahap ini sistem akan menghasilkan tabel perubahan luas tutupan dari 2 tahun yang digunakan dalam proses pemodelan serta *transition matrix* yang berisi probabilitas transisi dari setiap kelas tutupan lahan.

4. *Transition Potential Modelling*

Pemodelan prediksi tutupan lahan pada kajian dilakukan menggunakan ANN dengan struktur *Multi Layer Perceptron* (MLP). Proses *training model* dilakukan menggunakan sampel yang dipilih secara acak. Adapun parameter yang digunakan dalam proses *training* ini, yaitu *neighbourhood* 1px, *learning rate* 0.100, *maximum iterations* 100, dan *hidden layer* 10.

5. *Cellular Automata Simulation*

Setelah proses *training model* selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah memodelkan perubahan tutupan lahan secara spasial dengan mempertimbangan pengaruh ketetanggaan antar piksel dan potensi transisi yang dihasilkan oleh model pada tahap sebelumnya. Jumlah iterasi yang diinput dalam proses simulasi disesuaikan dengan kebutuhan. Satu kali iterasi akan menghasilkan peta prediksi untuk beberapa tahun berikutnya, yaitu tahun peta tutupan lahan *final* ditambah dengan rentang waktu antar peta tutupan lahan yang digunakan dalam proses pemodelan.

6. *Validations*

Tahap validasi diperlukan untuk menentukan apakah model layak digunakan untuk melakukan prediksi tutupan lahan ke depan. Validasi model dilakukan dengan metode Kappa. Nilai kappa <0 berarti tidak ada kesesuaian, 0.01 - 0.20 kesesuaian kecil, 0.21 – 0.40 kesesuaian cukup, 0.41 – 0.60 kesesuaian menengah, 0.61 – 0.80 kesesuaian substansial, dan 0.81 – 0.99 kesesuaian mendekati sempurna (Wibowo & Harintaka, 2023).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perubahan tutupan lahan (2022–2024)

Analisis perubahan tutupan lahan di 5 desa/kelurahan Kecamatan Komodo dilakukan menggunakan peta *pre-classified* yang disediakan oleh *Impact Observatory* dan ESRI melalui *ESRI Living Atlas*. Peta tersebut merupakan hasil klasifikasi citra satelit menggunakan Sentinel-2 Level-2A dengan resolusi 10 meter yang tersedia sejak tahun 2017. Dataset ini dipilih karena data tersedia secara temporal dan telah melalui proses klasifikasi menggunakan *deep learning AI classification model* yang dilatih pada miliaran gambar piksel yang telah dilabeli manusia (Karra et al., 2021). Peta tutupan lahan ini diklasifikasikan ke dalam 9 kelas, yang ditunjukkan oleh Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Jenis Klasifikasi Tutupan Lahan Menurut ESRI *Living Atlas*

No	Jenis Tutupan Lahan	Keterangan
1.	<i>Water</i>	Daerah yang yang tertutupi air sepanjang tahun, mengandung sedikit atau tidak ada vegetasi, tidak ada batuan yang menonjol atau struktur bangunan buatan. Contohnya sungai, kolam, danau, lautan, atau dataran garam yang tergenang.
2.	<i>Trees</i>	Setiap kelompok vegetasi yang pada dengan ketinggian sekitar 15 kaki atau lebih, biasanya dengan kanopi tertutup atau padat. Contohnya vegetasi hutan, kelompok vegetasi tinggi di dalam sabana, perkebunan, rawa, atau mangrove.
4.	<i>Flooded Vegetation</i>	Daerah dengan vegetasi apapun yang secara jelas terendam air baik sepanjang sebagian besar tahun maupun secara musiman yang terdiri dari rumput/semak/pohon/tanah terbuka. Contohnya hutan mangrove yang tergenang, vegetasi yang muncul di atas air, padi sawah, dan pertanian lain yang dialiri irigas dan tergenang.
5.	<i>Crops</i>	Tanaman sereal, rumput, atau tanaman pangan yang ditanam manusia yang tingginya tidak setinggi pohon. Contohnya jagung, padi, gandum, dan lahan terstruktur atau lahan pertanian yang dibiarkan kosong.
7.	<i>Built Area</i>	Struktur buatan manusia seperti jalan raya utama dan kereta api, lahan dengan permukaan permeabel yang luas dan homogen termasuk lahan parkir, gedung perkantoran, dan perumahan. Contohnya rumah, desa atau kota padat, jalan berpaving, dan aspal.
8.	<i>Bare Ground</i>	Daerah batuan atau tanah yang jarang vegetasi atau tidak ada sama sekali sepanjang tahun, daerah pasir atau gurun yang luas dengan vegetasi jarang atau tidak ada sama sekali. Contohnya hamparan tanah atau batu,

No	Jenis Tutupan Lahan	Keterangan
		gurun dan bukit pasir, dataran atau kolam garam yang kering, danau kering, serta tambang
9.	<i>Snow/Ice</i>	Wilayah luas dan homogen dengan es atau salju permanen, umumnya hanya ada di daerah pegunungan atau lintang tertinggi. Contohnya gletser, lapisan salju permanen, lapangan salju.
10.	<i>Clouds</i>	Tidak ada informasi tutupan lahan karena awan tebal terus menerus
11.	<i>Rangeland</i>	Lahan terbuka yang tertutupi dengan sedikit atau tanpa vegetasi yang tinggi (bukan ditanam manusia), contohnya padang rumput alami dan ladang dengan pohon yang jarang atau tidak ada, sabana terbuka dengan sedikit atau tanpa pohon, taman/lapangan golf/rumput, padang rumput. Campuran kluster kecil tanaman atau tanaman tunggal yang tersebar pada hamparan yang menunjukkan tanah atau batu, area terbuka di dalam hutan yang dipenuhi semak yang tidak lebih tinggi dari pohon, contohnya tutupan sedang hingga jarang dari semak, perdu, rumpun rumput, sabana dengan rumput yang jarang, pohon, atau tanaman lain.

Sumber: Esri *Living Atlas*, diterjemahkan dan disusun kembali oleh penulis (2026)

Adapun Perubahan tutupan lahan di kawasan Kecamatan Komodo (Kelurahan Labuan Bajo, Desa Batu Cermin, Desa Wae Kelambu, Desa Goron Talo, dan Desa Golo Bilas) dalam kurun waktu 2022 sampai dengan tahun 2023 ditunjukkan oleh Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Perubahan Tutupan Lahan di Kawasan Kecamatan Komodo Tahun 2022-2023

Kelas	2022 (ha)	2023 (ha)	Perubahan (ha)	2022 (%)	2023 (%)
<i>Water</i>	109.60	129.85	20.26	1.57	1.86

Kelas	2022 (ha)	2023 (ha)	Perubahan (ha)	2022 (%)	2023 (%)
<i>Trees</i>	3940.57	3498.81	-441.75	56.30	49.99
<i>Flooded Vegetation</i>	11.73	4.98	-6.76	0.17	0.07
<i>Crops</i>	373.62	301.04	-72.58	5.34	4.30
<i>Built Area</i>	1525.81	1688.82	163.01	21.80	24.13
<i>Bare Ground</i>	3.12	2.03	-1.09	0.04	0.03
<i>Rangeland</i>	1035.23	1374.14	338.92	14.79	19.63

Sumber: Diolah dari data tutupan lahan ESRI *Living Atlas* tahun 2022 dan 2023 oleh penulis, 2026

Berdasarkan tabel di atas, pada tahun 2022 persentase kelas tutupan lahan terbesar pada 5 desa/kelurahan di Kecamatan Komodo adalah kelas tutupan lahan *trees* yaitu 56.30% kemudian diikuti oleh kelas tutupan lahan *built area* sebesar 21.80%. Pada tahun 2023 komposisi persentase tutupan lahan di kawasan tersebut masih tetap sama, tutupan lahan masih didominasi oleh *trees* dan *built area*. Namun, dalam kurun waktu 1 tahun (2022-2023) kelas tutupan lahan *built area* atau wilayah terbangun mengalami kenaikan sebesar 163.01 ha, dari 1525.81 Ha pada tahun 2022 menjadi 1688.82 Ha pada tahun 2024. Hal yang sama juga terjadi pada kelas tutupan lahan *rangeland* dan *water* yang juga mengalami kenaikan secara berurutan sebesar 338.92 ha dan 20.26 ha. Sementara, kelas tutupan lahan *trees*, *flooded vegetation*, *crops*, dan *bare ground* justru mengalami penurunan dengan penurunan terbesar terjadi pada kelas tutupan lahan *trees*, yaitu sebesar 441.75 ha

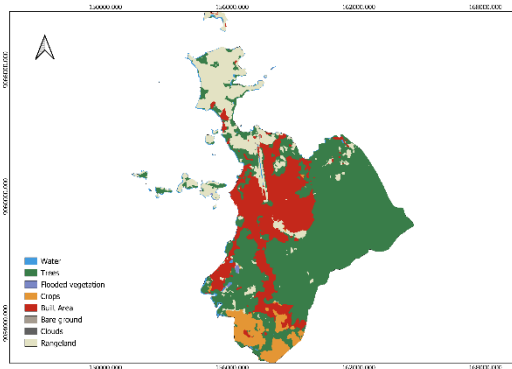
Tabel 4. Perubahan Tutupan Lahan di Kawasan Kecamatan Komodo Tahun 2023-2024

Kelas	2023 (ha)	2024 (ha)	Perubahan (ha)	2023 (%)	2024 (%)
<i>Water</i>	129.85	130.15	0.30	1.86	1.86
<i>Trees</i>	3498.81	3363.14	-135.67	49.99	48.07
<i>Flooded Vegetation</i>	4.98	4.64	-0.34	0.07	0.07
<i>Crops</i>	301.04	385.53	84.49	4.30	5.51
<i>Built Area</i>	1688.82	1793.26	104.44	24.13	25.63
<i>Bare Ground</i>	2.03	1.32	-0.71	0.03	0.02

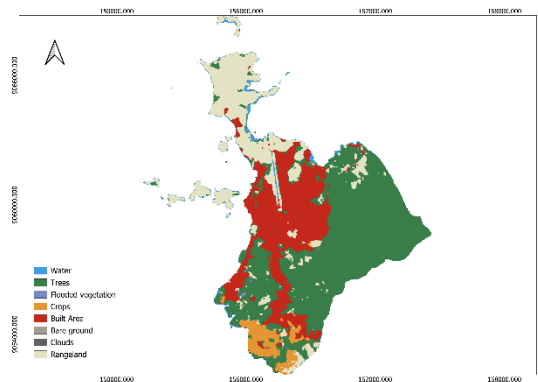
Kelas	2023 (ha)	2024 (ha)	Perubahan (ha)	2023 (%)	2024 (%)
<i>Rangeland</i>	1374.14	1318.88	-55.26	19.63	18.85

Sumber: Diolah dari data tutupan lahan ESRI *Living Atlas* tahun 2022 dan 2023 oleh penulis, 2026

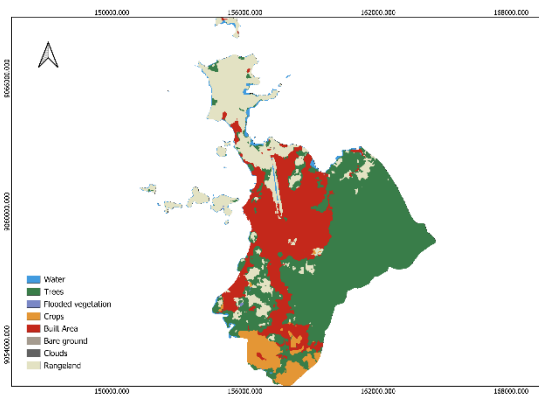
Tabel 4 menunjukkan perubahan tutupan lahan dari tahun 2023 sampai dengan 2024. Dari tabel tersebut, dapat diketahui bahwa kelas tutupan lahan *trees* dari tahun ke tahun secara konsisten mengalami penurunan, dari 3498.81 ha pada tahun 2023 menjadi 3363.14 ha pada tahun 2024. Hal tersebut berbanding terbalik dengan kelas tutupan lahan *built area* yang konsisten mengalami peningkatan. Pada tahun 2024, kelas tutupan lahan *built area* mengalami peningkatan sebesar 104.44 ha dibanding tahun 2023. Selain kelas tutupan lahan *built area*, kelas tutupan lahan *crops* juga mengalami peningkatan pada tahun 2024 sebesar 84.49 ha dibanding tahun 2023.



Gambar 3. Peta Tutupan Lahan Kawasan Kec Komodo tahun 2022



Gambar 4. Peta Tutupan Lahan Kawasan Kec Komodo tahun 2023



Gambar 5. Peta Tutupan Lahan Kawasan Kec Komodo tahun 2024

Sumber: Diadaptasi dari data tutupan lahan ESRI *Living Atlas* tahun 2022-2024 oleh penulis, 2026 (<https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer/>)

3.2 Pemodelan Prediksi Perubahan tutupan lahan menggunakan ANN

1) *Input Model*

Proses pemodelan prediksi tutupan lahan ini menggunakan peta tutupan lahan tahun 2022 sebagai peta *initial* dan peta tutupan lahan tahun 2023 sebagai peta *final*. Sementara variabel pendorong yang digunakan dalam pemodelan adalah jarak ke wilayah terbangun, jarak ke jalan, dan *slope* (kemiringan).

2) *Evaluating Correlation*

Tabel 5 menunjukkan hasil uji korelasi *Pearson* antar variabel pendorong yang digunakan untuk membantu memutuskan apakah variabel akan dimasukkan ke dalam pemodelan atau tidak (Muhammad et al., 2022).

Tabel 5. Hasil Uji Korelasi Pearson untuk Variabel Jarak ke Area Terbangun, Kemiringan Lereng, dan Jarak ke Jalan di Kawasan Kecamatan Komodo Berdasarkan Data Spasial dari BIG dan ESRI Living Atlas

	Jarak ke Area Terbangun	<i>Slope</i> (Kemiringan)	Jarak ke Jalan
Jarak ke Area Terbangun	---	0.20	0.62
<i>Slope</i> (Kemiringan)		---	0.19
Jarak ke Jalan			---

Sumber: Diolah dari data jalan dan kemiringan lereng yang bersumber dari BIG dan data tutupan lahan ESRI *Living Atlas* oleh penulis, 2026

Berdasarkan tabel tersebut, korelasi antara variabel jarak ke area terbangun dan variabel jarak ke jalan cukup kuat, hal ini menunjukkan bahwa pembangunan cenderung dilakukan pada area yang dekat dengan jalan. Meskipun keduanya menunjukkan hubungan yang cukup kuat namun nilainya masih ≤ 0.7 (Iskandar et al., 2024), sehingga variabel-variabel tersebut akan dipertahankan di dalam model untuk memberikan informasi spasial yang relevan.

3) *Area changes*

Tahap ini menghasilkan tabel perubahan tutupan lahan yang telah ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4 serta *transition matrix* dari tahun 2022-2023 yang ditunjukkan oleh tabel 5. *Transition matrix* menggambarkan proporsi piksel yang berubah dari satu kelas tutupan lahan ke kelas tutupan lahan yang lain, nilai dalam matriks berada dalam interval 0 hingga 1, nilai diagonal mendekati 1 menunjukkan bahwa perubahan kelas tutupan lahan tergolong stabil (Muhammad et al., 2022).

Tabel 6. *Transition Matrix* pada Tutupan Lahan di Kawasan Kecamatan Komodo Tahun 2022-2023

	<i>Water</i>	<i>Trees</i>	<i>Flooded Vegetation</i>	<i>Crops</i>	<i>Built Area</i>	<i>Bare Ground</i>	<i>Rangeland</i>
<i>Water</i>	0.69	0.07	0.01	0.00	0.06	0.00	0.16
<i>Trees</i>	0.01	0.87	0.00	0.00	0.04	0.00	0.08
<i>Flooded Vegetation</i>	0.14	0.28	0.33	0.01	0.03	0.00	0.22
<i>Crops</i>	0.00	0.04	0.00	0.76	0.03	0.00	0.17
<i>Built Area</i>	0.00	0.01	0.00	0.00	0.98	0.00	0.01
<i>Bare Ground</i>	0.12	0.00	0.00	0.00	0.10	0.36	0.43
<i>Rangeland</i>	0.01	0.03	0.00	0.01	0.03	0.00	0.93

Sumber: Diolah dari data tutupan lahan ESRI *Living Atlas* tahun 2022 dan 2023 oleh penulis, 2026

Melalui *transition matrix* pada Tabel 6 dapat diketahui bahwa selama tahun 2022 sampai dengan 2023, kelas tutupan lahan yang cenderung stabil secara berurutan adalah *built area* (0,975); *rangeland* (0.929); *trees* (0.871); *crops* (0.757); dan *water* (0.694). Selain menunjukkan seberapa stabil kelas tutupan lahan, *transition matrix* juga dapat menggambarkan bagaimana arah perubahan tutupan lahan. Sebelumnya pada Tabel 3 dan 4 telah dijelaskan bahwa kelas tutupan lahan *trees* merupakan kelas yang mengalami penurunan luas paling besar selama tahun 2022-2023. Melalui *transition matrix* pada Tabel 6 ini dapat diketahui bahwa sekitar 12.9% piksel kelas tutupan lahan *trees* berubah menjadi kelas lain, dengan probabilitas terbesar berubah menjadi *rangeland* (0.078) dan *built area* (0.037). Sementara untuk kelas tutupan lahan yang berubah menjadi *built area*, probabilitas terbesar berasal dari kelas tutupan lahan *bare ground* (0.961) dan *trees* (0.037).

4) *Transition potential modelling*

Pemodelan dilakukan menggunakan ANN dengan struktur MLP yang terdiri dari 10 *nodes* pada *hidden layer*. Adapun hasil pemodelan ini ditunjukkan oleh Tabel 7.

Tabel 7. Hasil *Training Model* Prediksi Perubahan Tutupan Lahan di Kawasan Kecamatan Komodo

<i>Neighbourhood</i>	1 px
<i>Learning Rate</i>	0.100
<i>Maximum Iterations</i>	100
<i>Hidden Layer</i>	10
<i>Momentum</i>	0.001
<i>Overall Accuracy</i>	-0.00028
<i>Min Validation Overall Error</i>	0.01907
<i>Current Validation Kappa</i>	0.83316

Sumber: Diolah dari data jalan dan kemiringan lereng yang bersumber dari BIG dan data tutupan lahan ESRI *Living Atlas* oleh penulis, 2026

Hasil *training* pada Tabel 7 mengindikasikan kinerja yang cukup baik, nilai *min validation error* sebesar 0.01907 menunjukkan bahwa kesalahan prediksi tutupan lahan relatif kecil, lalu nilai kappa yang dihasilkan pada proses *training* sebesar 0.83316 (Rahmah et al., 2020), sehingga hasil pemodelan ini layak digunakan untuk melakukan simulasi tutupan lahan pada tahap selanjutnya.

5) *Cellular automata simulation*

Tahap *Cellular Automata Simulation* menghasilkan peta prediksi tahun 2024 menggunakan data tutupan lahan tahun 2022 dan 2023 yang ditunjukkan oleh Tabel 8.

Tabel 8. Luas Prediksi dan Aktual Tutupan Lahan Kawasan Kec. Komodo Tahun 2024

Kelas	Luas Prediksi 2024 (ha)	Luas Aktual 2024 (ha)
<i>Water</i>	121.63	130.15
<i>Trees</i>	3381.03	3363.14
<i>Flooded Vegetation</i>	4.84	4.64
<i>Crops</i>	292.30	385.53
<i>Built Area</i>	1822.04	1793.26
<i>Bare Ground</i>	2.03	1.32

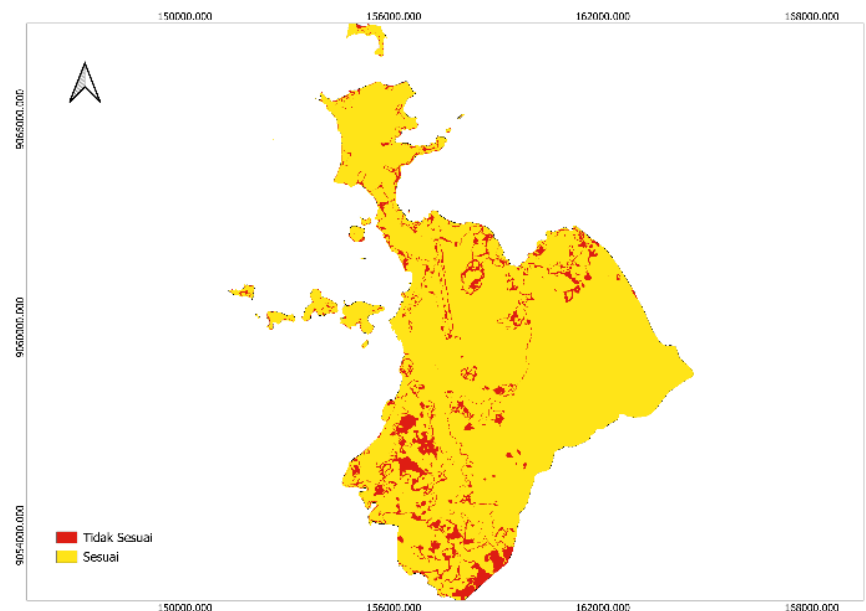
Rangeland

1375.81

1318.88

Sumber: Diolah dari data jalan dan kemiringan lereng yang bersumber dari BIG dan data tutupan lahan ESRI *Living Atlas* oleh penulis, 2026

Hasil prediksi tutupan lahan tahun 2024 menunjukkan bahwa pada 5 desa/kelurahan di Kecamatan Komodo tutupan lahannya masih didominasi oleh kelas tutupan lahan *trees* dan *built area* dengan persentase masing-masing sebesar 48.30% dan 26.03%. Perbandingan luas lahan hasil prediksi dan luas aktual tahun 2024 menunjukkan bahwa pada setiap kelas tutupan lahan terdapat perbedaan. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh berbagai faktor yang tidak dilibatkan dalam model, sehingga model tidak dapat melakukan prediksi dengan sempurna (Wibowo & Harintaka, 2023). Untuk melihat bagaimana kesesuaian tutupan lahan aktual dan hasil prediksi ditunjukkan oleh peta pada Gambar 6.



Gambar 6. Peta Kesesuaian Tutupan Lahan Kawasan Kec. Komodo Tahun 2024
Sumber: Diolah dari data jalan dan kemiringan lereng yang bersumber dari BIG dan data tutupan lahan ESRI *Living Atlas* oleh penulis, 2026

Hasil pengecekan kesesuaian antara peta aktual dan hasil prediksi pada tahun 2024 menunjukkan bahwa sebesar 90.76% tutupan lahan dipetakan dengan benar, hal ini menunjukkan bahwa peta hasil prediksi memiliki akurasi yang cukup tinggi (Kamal et al., 2025). Namun uji validasi tambahan tetap diperlukan pada tahap selanjutnya guna memperkuat dasar penggunaan model untuk melakukan prediksi tutupan lahan pada masa mendatang.

6) *Validation*

Hasil uji validitas kappa terhadap peta aktual dan peta hasil prediksi tahun 2024 yang ditunjukkan oleh Tabel 9 menghasilkan nilai sebesar 0.86009. Nilai ini mengindikasikan bahwa model memiliki akurasi yang sangat baik sehingga layak untuk dijadikan acuan dalam melakukan prediksi tutupan lahan untuk masa mendatang.

Tabel 9. Hasil Uji Validasi Kappa Terhadap Peta Aktual dan Peta Hasil Prediksi di Kawasan Kecamatan Komodo Tahun 2024

Indikator	Nilai
Kappa (Overall)	0.86009
Kappa (Histogram)	0.97768
Kappa (Location)	0.87973

Sumber: Diolah dari data jalan dan kemiringan lereng yang bersumber dari BIG dan data tutupan lahan ESRI *Living Atlas* oleh penulis, 2026

7) *Prediksi Tutupan Lahan tahun 2027*

Setelah model prediksi tutupan lahan yang telah dibuat pada tahap sebelumnya telah dinyatakan layak, selanjutnya pada tahap ini dilakukan simulasi menggunakan *Cellular Automata* untuk memprediksi tutupan lahan pada tahun 2027. Hasil prediksi tutupan lahan tahun 2027 ditunjukkan oleh Gambar 7 dan Tabel 10.

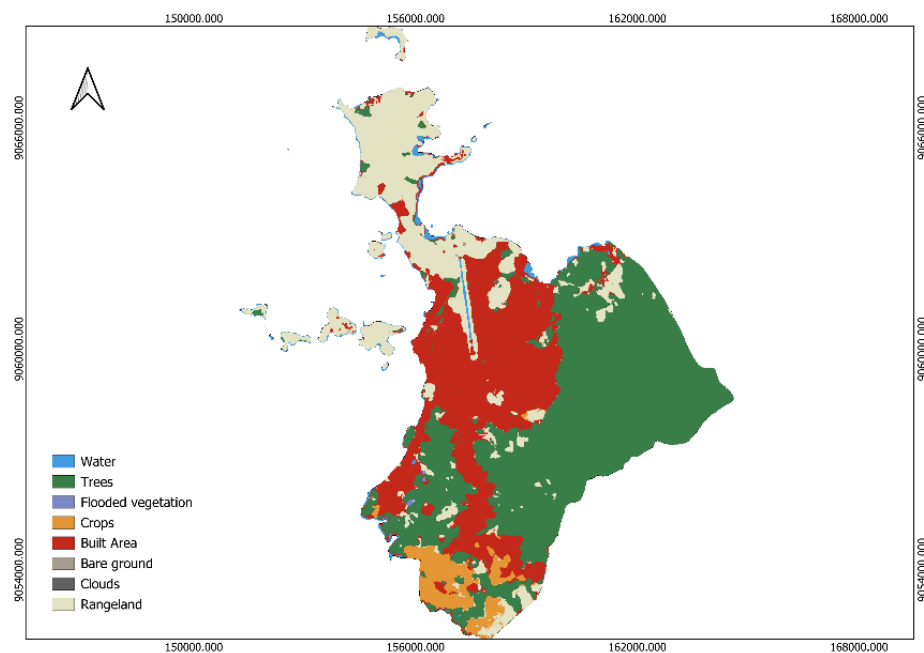
Tabel 10. Hasil Prediksi Tutupan lahan di Kawasan Kecamatan Komodo Tahun 2027

Kelas	2022 (ha)	Prediksi 2027 (ha)	Perubahan (ha)
<i>Water</i>	109.60	121.24	11.64
<i>Trees</i>	3940.57	3232.87	-707.70
<i>Flooded Vegetation</i>	11.73	4.82	-6.91
<i>Crops</i>	373.62	291.71	-81.91
<i>Built Area</i>	1525.81	1971.56	445.75
<i>Bare Ground</i>	3.12	2.01	-1.11
<i>Rangeland</i>	1035.23	1375.47	340.24

Sumber: Diolah dari data jalan dan kemiringan lereng yang bersumber dari BIG dan

data tutupan lahan ESRI *Living Atlas* oleh penulis, 2026

Hasil Prediksi tutupan lahan di 5 desa/kelurahan Kecamatan Komodo pada tahun 2027 menunjukkan bahwa persentase kelas tutupan lahan terbesar adalah *trees* (46.19%), lalu *built area* (28.17%), kemudian *rangeland* (19.65%). Dalam kurun waktu 5 tahun dari tahun 2022 sampai dengan 2027, hasil prediksi menunjukkan bahwa kelas tutupan lahan *trees* mengalami penurunan luas paling besar yaitu seluas 707.70 ha, lalu disusul oleh kelas tutupan lahan *crops* seluas 81.91 ha. Sementara kelas tutupan lahan yang luasnya mengalami kenaikan adalah kelas tutupan lahan *built area* seluas 445.75 ha dan *rangeland* sebesar 340.24 ha



Gambar 7. Peta Prediksi Tutupan Lahan Kawasan Kec. Komodo Tahun 2027

Sumber: Diolah dari data jalan dan kemiringan lereng yang bersumber dari BIG dan data tutupan lahan ESRI *Living Atlas* oleh penulis, 2026

3.3 Keterkaitan hasil prediksi tutupan lahan dengan pembangunan pariwisata berkelanjutan

Hasil prediksi tutupan lahan tahun 2027 menunjukkan bahwa kelas tutupan lahan terbangun (*built area*) mengalami peningkatan yang cukup signifikan, yaitu sebesar 445.75 ha dibanding tahun 2022, berbanding terbalik dengan kelas tutupan lahan *trees* yang justru mengalami penurunan sebesar 707.70 ha. Alih fungsi lahan ini mengindikasikan adanya aktivitas pembangunan yang berkaitan dengan dijadikannya kawasan Kecamatan Komodo sebagai kawasan pariwisata super prioritas nasional. Selain luas lahan terbangun, dalam kurun waktu 5 tahun hasil prediksi juga menunjukkan adanya peningkatan pada luas *rangeland* sebesar 340.24 ha. Peningkatan kelas *rangeland* dapat dikaitkan

dengan adanya transisi tutupan lahan dari vegetasi yang lebih rapat menuju lahan terbuka dengan vegetasi yang lebih jarang yang mengindikasikan adanya aktivitas manusia dalam pembukaan lahan secara bertahap.

Perubahan tutupan lahan ini merupakan respon terhadap kebutuhan infrastruktur dan fasilitas pendukung pariwisata. Dari sisi akomodasi, BPS mencatat perkembangan jumlah hotel yang cukup signifikan di Kabupaten Manggarai Barat. Dalam kurun waktu 2022 sampai dengan 2024 jumlah hotel di Manggarai Barat bertambah sebanyak 26 hotel, yaitu dari 90 hotel pada tahun 2022 menjadi 116 hotel pada tahun 2024 (BPS Kabupaten Manggarai Barat, 2025) yang sebagian besar terpusat di kawasan Kecamatan Komodo. Pembangunan ini berpotensi mendorong pertumbuhan ekonomi pada sektor pariwisata serta aktivitas ekonomi masyarakat lokal yang diindikasikan dengan pertumbuhan Produk Domestik Regional Bruto pada beberapa sektor yang terkait dengan kegiatan pariwisata di Kabupaten Manggarai Barat, yaitu pada tahun 2024 sektor penyediaan akomodasi dan makan minum tumbuh sebesar 18.34%, transportasi dan pergudangan mengalami pertumbuhan sebesar 19.45%, serta sektor jasa perusahaan yang tumbuh sebesar 7.92% (BPS Kabupaten Manggarai Barat, 2025).

Namun demikian, perubahan tutupan lahan ini juga memiliki dampak negatif, yaitu berkurangnya ruang terbuka dan kawasan alami, yang jika tidak dikelola dengan baik dapat menurunkan kualitas lingkungan dan daya tarik wisata dalam jangka panjang, serta bertentangan dengan prinsip pariwisata berkelanjutan yang tertuang dalam *ASEAN Framework on Sustainable Tourism Development*. Prinsip ini menyebutkan bahwa pembangunan pariwisata harus meminimalkan kerusakan lingkungan (ASEAN, 2021). Sementara itu, hasil prediksi menunjukkan penurunan kelas *trees* yang cukup signifikan yang mengindikasikan bahwa pembangunan pariwisata di kawasan Kecamatan Komodo belum sepenuhnya diarahkan untuk meminimalkan kerusakan lingkungan.

Penerapan regulasi dan kebijakan untuk meningkatkan keberlanjutan pariwisata dan lingkungan sangat diperlukan guna memastikan daya tarik wisata tetap terjaga. Hasil prediksi tutupan lahan ini dapat menjadi peringatan dini terkait potensi degradasi lingkungan yang disebabkan oleh perluasan kawasan terbangun, tidak hanya bagi pemerintah yang bertanggung jawab atas perencanaan ruang, tetapi juga penyedia layanan pariwisata dan kegiatan pendukung pariwisata (Widaningrum et al., 2020).

4. Simpulan dan Saran

4.1 Simpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa

- 1) Selama tahun 2022-2024 tutupan lahan di Kawasan Kecamatan Komodo didominasi oleh kelas *trees* dan *built area*. Dalam kurun waktu 2 tahun kelas tutupan lahan *trees* mengalami penurunan luas terbesar yaitu seluas 577.43 ha. Sementara, kelas tutupan lahan dengan peningkatan luas paling besar, yaitu kelas tutupan lahan *rangeland* dan *built area*, secara berturut-turut sebesar 283.65 ha dan 267.45 ha.
- 2) Hasil pemodelan perubahan tutupan lahan menggunakan ANN dengan struktur MLP menunjukkan bahwa 90.76% tutupan lahan dapat dipetakan dengan benar. Hasil uji validitas juga menunjukkan bahwa model memiliki kinerja yang sangat baik dengan nilai Kappa sebesar 0.86009 sehingga model dapat digunakan untuk melakukan prediksi tutupan lahan di masa mendatang.
- 3) Prediksi tutupan lahan tahun 2027 menunjukkan bahwa tutupan lahan masih didominasi oleh kelas tutupan lahan *trees* dan *built area*. Jika dibandingkan dengan tahun 2022, tutupan lahan *trees* mengalami penurunan sebesar 707.70 ha, sementara *built area* dan *rangeland* masing-masing bertambah sebesar 445.75 ha dan 340.24 ha
- 4) Perubahan tutupan lahan dari vegetasi yang lebih padat (*trees*) menjadi lahan terbangun atau lahan terbuka dengan vegetasi yang lebih jarang mengindikasikan adanya aktivitas manusia dalam pembukaan lahan secara bertahap sebagai respon terhadap kebutuhan infrastruktur dan fasilitas pendukung pariwisata di kawasan Kecamatan Komodo sebagai salah satu destinasi super prioritas nasional. Tutupan lahan vegetasi alami terutama pepohonan (*trees*) merupakan penyangga ekosistem dan pencegah erosi, sehingga diperlukan regulasi dan kebijakan untuk meningkatkan keberlanjutan pariwisata dan lingkungan agar daya tarik wisata tetap terjaga.

4.2 Saran

- 1) Peta tutupan lahan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan peta *pre-classified* sehingga memiliki keterbatasan berupa potensi ketidaksesuaian klasifikasi pada skala lokal. Penelitian selanjutnya diharapkan untuk melakukan proses klasifikasi secara mandiri sehingga tutupan lahan dapat terklasifikasi secara akurat.
- 2) Penelitian selanjutnya diharapkan untuk mempertimbangkan lebih banyak faktor dalam model seperti faktor sosial, ekonomi, lingkungan, serta faktor lain yang dapat mendorong perubahan penggunaan lahan, sehingga prediksi lahan yang dihasilkan dapat memberikan informasi yang komprehensif dan relevan bagi pembuat kebijakan.
- 3) Pemerintah daerah dapat mengintegrasikan peta hasil prediksi tutupan lahan ke dalam dokumen Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) sebagai salah satu

bahan pendukung dalam merumuskan Rencana Detail Tata Ruang (RDTR).

Ethics approval

Seluruh prosedur dalam penelitian ini telah sesuai dengan prinsip-prinsip serta etika publisitas.

Competing interests/conflict of interest

Penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan terkait penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] ASEAN. (2021). *ASEAN framework on sustainable tourism development in the post COVID-19 era*. ASEAN Secretariat. https://asean.org/wp-content/uploads/2023/01/Executive-Summary_ASEAN-Framework-on-Sustainable-Tourism-Development.pdf
- [2] Badan Pusat Statistik Kabupaten Manggarai Barat. (24 April 2025). *Jumlah penduduk, laju pertumbuhan penduduk, distribusi persentase penduduk, kepadatan penduduk, rasio jenis kelamin penduduk menurut kecamatan di Kabupaten Manggarai Barat, 2025*. Diakses Pada 4 Februari 2026, Dari <https://Manggarai Barat Kab. Bps. Go. Id/ Id/ Statistics-Table/3/V1zsbfruy3ltbfpeytinsvwngcdzjek53ykhsnffumdkjmym1mze1/Jumlah-Penduduk--Laju-Pertumbuhan-Penduduk--Distribusi-Persentase-Penduduk--Kepadatan-Penduduk--Rasio-Jenis-Kelamin-Penduduk-Menurut-Kecamatan-Di-Kabupaten-Manggarai-Barat.Html?Year=2025>
- [3] Badan Pusat Statistik Kabupaten Manggarai Barat. (10 Maret 2026). *Laju pertumbuhan produk domestik regional bruto atas dasar harga konstan 2010 menurut lapangan usaha di Kabupaten Manggarai Barat (Persen), 2024*. Diakses Pada 4 Februari 2026, Dari <https://Manggarai Barat Kab. Bps. Go. Id/ Id/ Statistics-Table/3/Yurkcwvfyzrnvepst1dsyvjxrk9rmve0vuu1vvfumdkjmym1mze1/Laju-Pertumbuhan-Produk-Domestik-Regional-Bruto-Atas-Dasar-Harga-Konstan-2010-Menurut-Lapangan-Usaha-Di-Kabupaten-Manggarai-Barat--Persen-.Html?Year=2024>
- [4] Badan Pusat Statistik Kabupaten Manggarai Barat. (9 Mei 2025). *Statistik perhotelan Kabupaten Manggarai Barat 2024*. <https://Manggarai Barat Kab. Bps. Go. Id/ Id/ Publication/2025/05/09/0bd5794a6962025b497ec23b/Statistik-Perhotelan-Kabupaten-Manggarai-Barat-2024.Html>

- [5] Buraerah, M. F., Rasyidi, E. S., & Sandi, R. (2020). Pemetaan perubahan penggunaan lahan di wilayah Kabupaten Takalar tahun 1999 - 2019 menggunakan sistem informasi geografis. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, 20, 68–75. <https://Journal.Unibos.Ac.Id/Eco/Issue/View/41>
- [6] Foley, J. A., Defries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N., & Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. In *Science*, 309(5734), 570–574. <https://Doi.Org/10.1126/Science.1111772>
- [7] Hapsary, M. S. A., Subiyanto, S., & Firdaus, H. S. (2021). Analisis prediksi perubahan penggunaan lahan dengan pendekatan artificial neural network dan regresi logistik di Kota Balikpapan. *Jurnal Geodesi Undip*, 10(2), 88–97. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2021.30637>
- [8] Iskandar, B., Saidah, Kurnia, A. A., Jauhari, A., & Zannah, F. (2024). Modeling land cover change using MOLUSCE in Kahayan Tengah Forest management unit, Kalimantan Tengah. *Jurnal Sylva Lestari*, 12(2), 242–257. <https://doi.org/10.23960/jsl.v12i2.865>
- [9] Kamal, M. R. S., Aji Satria, R., Gusti Pasha, F., & Basillia Way, dan. (2025). Pola dan pemodelan prediksi perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Sleman sebagai wilayah *peri urban*. *Desa-Kota: Jurnal Perencanaan Wilayah, Kota, dan Permukiman*, 7(1), 44–58. <https://doi.org/10.20961/desa-kota.v7i1.86128.44-58>
- [10] Karra, K., Kontgis, C., Statman-Weil, Z., Mazzariello, J. C., Mathis, M., & Brumby, S. P. (2021). Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning. Dalam *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)* (pp. 4704–4707). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553499>
- [11] Mahtta, R., Fragkias, M., Güneralp, B., Mahendra, A., Reba, M., Wentz, E. A., & Seto, K. C. (2022). Urban land expansion: the role of population and economic growth for 300+ cities. *Npj Urban Sustainability*, 2(1). <https://doi.org/10.1038/s42949-022-00048-y>
- [12] Muhammad, R., Zhang, W., Abbas, Z., Guo, F., & Gwiazdzinski, L. (2022). Spatiotemporal change analysis and prediction of future land use and land cover changes using QGIS MOLUSCE plugin and remote sensing big data: a case study of Linyi, China. *Land*, 11(3). <https://Doi.Org/10.3390/Land11030419>
- [13] Pertiwi, T. C. M., & Saputra, A. (2024). Landuse change prediction on super-priority tourism destination in Labuan Bajo, Indonesia. *E3s Web Of Conferences*, 500. <https://Doi.Org/10.1051/E3sconf/202450003043>

- [14] Prabandari, A. A., & Wibowo, A. (2024). Monitoring 10 tahun perubahan tutupan lahan di sekitar Bandar Udara Komodo menggunakan citra Google Earth. *Jurnal Geografi*, 13(1), 1–8. <https://doi.org/10.24036/geografi/vol13-iss1/3819>
- [15] Rahmah, A. N., Subiyanto, S., & Amarrohman, F. J. (2020). Pemodelan perubahan penggunaan lahan dengan artificial neural network (ANN) di Kota Semarang. *Jurnal Geodesi Undip*, 9(1).
- [16] Ramadhan, R., Widiatmaka, W., & Sudadi, U. (2016). Land use change and spatial utilization in landslide vulnerable regions of Banjarnegara Regency, Central Java. *Journal Of Natural Resources And Environmental Management*, 6(2), 159–167. <https://Doi.Org/10.19081/Jpsl.2016.6.2.159>
- [17] Republik Indonesia. (2025). *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2025 Tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional Tahun 2025–2029*. <https://jdih.kemenkoinfra.go.id/perpres-no-12-tahun-2025>
- [18] Rimba, A. B., Atmaja, T., Mohan, G., Chapagain, S. K., Arumansawang, A., Payus, C., & Fukushi, K. (2020). Identifying land use and land cover (LULC) change from 2000 to 2025 driven by tourism growth: A study case in Bali. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 43(B3), 1621–1627. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2020-1621-2020>
- [19] Sanjesti, W., & Silviana, A. (2025). Dampak alih fungsi lahan pertanian menjadi lahan kering. *Legal Standing: Jurnal Ilmu Hukum*, 9(2), 420–435. <https://Doi.Org/10.24269/Ls.V9i2.11650>
- [20] Septriana, F. E., Alnavis, N. B., Gustia, R., Wirawan, R. R., Putri, N. P., Hasibuan, H. S., & Tambunan, R. P. (2020). Dampak perubahan penutupan lahan terhadap sistem hidrologi di Jakarta. *Majalah Ilmiah Globe*, 22(1), 51. <https://Doi.Org/10.24895/Mig.2020.22-1.1150>
- [21] Wibowo, R. A., & Harintaka. (2023). Pembuatan model prediksi lahan terbangun di Kabupaten Kulon Progo dengan citra satelit penginderaan jauh. *Geoid: Journal of Geodesy and Geomatics*, 19(1), 18–27.
- [22] Widaningrum, D. L., Surjandari, I., & Sudiana, D. (2020). Analyzing land use changes in tourism development areas: a case study of Cultural World Heritage Sites on Java Island, Indonesia. *International Journal Of Technology*, 11(4), 688–697. <https://Doi.Org/10.14716/ljtech.V11i4.4097>