



PREDIKSI PERUBAHAN PERMUKIMAN DAN LAHAN PULAU MANSINAM DARI TAHUN 2025–2031 DENGAN METODE *CELLULAR AUTOMATA* SIMULATION

PREDICTION OF SETTLEMENT AND LAND USE CHANGES ON MANSINAM ISLAND FROM 2025 TO 2031 USING THE CELLULAR AUTOMATA SIMULATION METHOD

Aldi Fariz Valderama¹, Yulianto Taplo^{1*}, Ardi Riansyah¹, Syavitra L. P. Habibi¹, Adi Frianda Siagian¹, Taufik Syahrul Popoi¹, Muh. Irwana Segara Nasir¹, Amos Iba¹, Karmila Laitupa¹

¹ Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Papua, Jl. Gunung Salju Amban, Indonesia

*Penulis korespondensi: antotaplo6@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14th August 2025

Received in revised from 28th October 2025

Accepted 12th November 2025

Available online November 2025

Keywords:

Infrastructure

Settlement

Spatial Prediction

Mansinam Island

Geographic Information System

ABSTRACT

Indonesia, as an archipelagic country, faces development challenges on its small islands, including Mansinam Island. This study aims to predict settlement and land cover changes on Mansinam Island for the period 2025–2031. The data used were surface reflectance-corrected Sentinel-2 imagery with a spatial resolution of 10 meters. The imagery was acquired in 2019, 2022, and 2025. Land cover classification was performed using a supervised classification method with the minimum distance algorithm, achieving an accuracy of 87.82%. Land change prediction modeling was carried out through land use change analysis and simulation using the Cellular Automata (CA) and Artificial Neural Network-Cellular Automata (ANN-CA) models. The model produced a Percent of Correctness of 89.96%. The simulation results indicate that from 2025 to 2031 there will be no significant land change, with transformed land areas of 43.85 ha in 2025, 42.62 ha in 2028, and 42.64 ha in 2031. The results also show that the development rate on Mansinam Island tends to slow down.

ABSTRAK

Kata Kunci:

Infrastruktur

Permukiman

Prediksi Spasial

Pulau Mansinam

Sistem Informasi Geografis

Indonesia sebagai negara kepulauan menghadapi tantangan pembangunan di pulau-pulau kecil, termasuk di Pulau Mansinam. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi perubahan permukiman dan lahan di Pulau Mansinam periode 2025–2031. Data yang digunakan untuk adalah citra Sentinel-2 terkoreksi *surface reflectance* dengan resolusi spasial 10 meter. Citra yang digunakan adalah akuisisi tahun 2019, 2022 dan 2025. Pembuatan kelas penutup lahan memanfaatkan metode klasifikasi terbimbing dengan algoritma *minimum distance* dengan tingkat akurasi sebesar 87,82%. Pemodelan prediksi perubahan lahan dilakukan melalui analisis perubahan penggunaan lahan dan simulasi prediksi menggunakan model *Cellular Automata* (CA) dan *Artificial Neural Network-Cellular Automata* (ANN-CA). Model yang dibuat

ABSTRAK

memiliki hasil *Persen of Correctness* sebesar 89.96%, model menunjukkan peningkatan perubahan lahan dari tahun 2025 hingga 2031 tidak terdapat perubahan yang signifikan, dimana lahan yang berubah pada tahun 2025 sebesar 43.85 ha, tahun 2028 42.62 ha dan pada tahun 2031 42.64 ha. Hasil simulasi menunjukan laju Pembangunan pada Pulau Mansinam cenderung melambat.

How to Cite This Article: Valderama, A. dkk. (2025). Prediksi Perubahan Permukiman dan Lahan Pulau Mansinam dari Tahun 2025–2031 dengan Metode Cellular Automata Simulation. *INTAN: Jurnal Penelitian Tambang*, 8(2), 81–88. <https://doi.org/10.56139/intan.v8i2.337>

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terdiri dari ribuan pulau besar dan kecil dengan karakteristik lingkungan serta tantangan pembangunan yang beragam. Salah satu tantangan utama yang dihadapi adalah pengelolaan dan perencanaan pembangunan di pulau-pulau kecil yang memiliki keterbatasan sumber daya dan ruang. Pulau Mansinam, yang terletak di Provinsi Papua Barat, merupakan salah satu pulau kecil yang mengalami tekanan akibat perkembangan aktivitas manusia, khususnya dalam bentuk peningkatan kawasan permukiman dan perubahan penggunaan lahan. Perubahan penggunaan lahan yang tidak terencana dapat berdampak pada keseimbangan ekosistem, ketersediaan ruang terbuka hijau, serta keberlanjutan lingkungan di masa depan. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk memahami dinamika perubahan lahan dan memprediksi arah perkembangannya agar kebijakan pembangunan dapat dilakukan secara berkelanjutan dan berbasis data spasial.

Kemajuan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG) memberikan peluang besar dalam memantau serta menganalisis perubahan penggunaan lahan secara temporal dan spasial. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan dalam pemodelan perubahan lahan adalah *Cellular Automata*, yang mampu mensimulasikan pola perubahan berdasarkan aturan spasial tertentu. Kombinasi model *Artificial Neural Network-Cellular Automata* bahkan dapat meningkatkan akurasi prediksi dengan mempertimbangkan faktor kompleksitas hubungan antar variabel lingkungan dan aktivitas manusia.

Penelitian ini dilakukan untuk memprediksi perubahan permukiman dan penggunaan lahan di Pulau Mansinam pada periode 2025–2031 dengan menggunakan citra Sentinel-2 beresolusi 10 meter yang telah terkoreksi *surface reflectance* (1). Melalui pendekatan pemodelan *Cellular Automata* dan *Artificial Neural Network-Cellular Automata*, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai arah perkembangan permukiman di masa depan serta menjadi dasar perencanaan

pembangunan wilayah yang berkelanjutan di Pulau Mansinam.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi kuantitatif deskriptif dengan pendekatan pemodelan spasial prediktif berbasis SIG. Fokus penelitian adalah memproyeksikan arah pertumbuhan infrastruktur dan permukiman di Pulau Mansinam, Manokwari, Papua Barat, untuk periode 2025–2031. Pendekatan ini dipilih karena mampu memvisualisasikan dinamika spasial secara temporal dan memberikan prediksi yang dapat dijadikan dasar dalam perencanaan wilayah (2).

Lokasi penelitian berada di seluruh wilayah daratan Pulau Mansinam, yang terletak di Teluk Doreh, Distrik Manokwari Timur, Kabupaten Manokwari, Provinsi Papua Barat. Wilayah ini merupakan kawasan strategis berbasis sejarah dan pariwisata rohani, serta ditetapkan sebagai zona prioritas pengembangan dalam Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Manokwari.

Pengumpulan data dilakukan dalam periode Januari hingga Juni 2025. Data utama yang digunakan adalah citra satelit Sentinel-2 2019, 2022 dan 2025 yang diperoleh dari *Copernicus Open Access Hub* (1). Data sekunder meliputi jaringan jalan, data bangunan eksisting dan RTRW Kabupaten Manokwari. Citra dikoreksi geometrik dan radiometrik, lalu diklasifikasikan menggunakan metode *Supervised Classification* dengan algoritma *Minimum distance* (MLC) (3). Seluruh wilayah daratan Pulau Mansinam digunakan sebagai area observasi dengan sistem grid raster resolusi 10 meter. Pendekatan ini berbasis sel raster, oleh karena itu tidak dilakukan teknik sampling konvensional. Namun, titik kontrol lapangan diperoleh langsung di lapangan secara visual.

Untuk meningkatkan ketelitian klasifikasi penggunaan lahan, pemodelan dilakukan dalam dua tahap utama. Pertama, dilakukan analisis perubahan penggunaan lahan antara tahun 2019, 2022 dan 2025 dengan teknik klasifikasi *Minimum Distance* (4), hasilnya berupa peta perubahan lahan. Kedua,

dilakukan simulasi prediksi penggunaan lahan tahun 2025, 2028 dan 2031 menggunakan model *Cellular Automata* dan *Artificial Neural Network-Cellular Automata* (5).

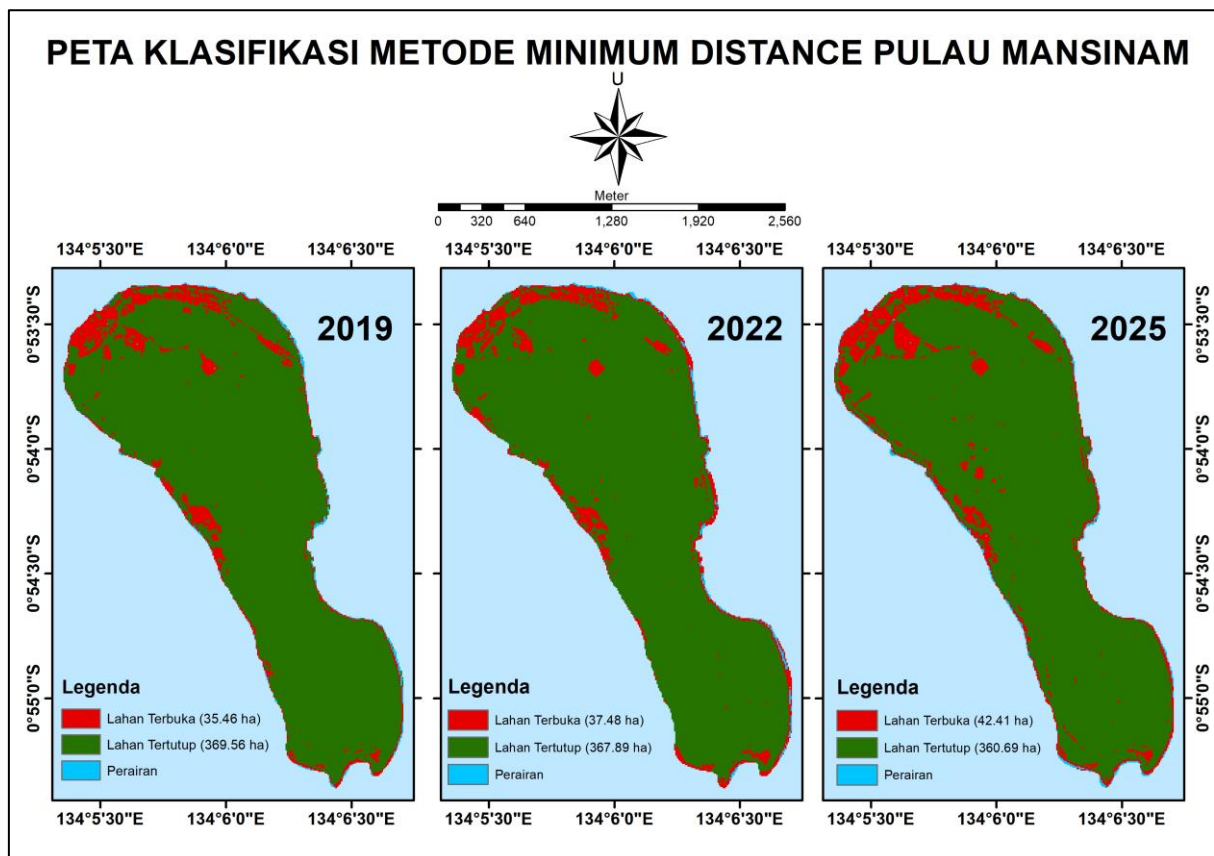
Hasil simulasi tahun 2025 digunakan sebagai validasi dengan validatornya adalah tutupan lahan tahun 2025 dengan menggunakan metode klasifikasi terbimbing *Minimum Distance*. Model *Cellular Automata* digunakan untuk mensimulasikan transisi spasial berdasarkan sel tetangga dan aturan transisi spasial, sementara *Artificial Neural Network-Cellular Automata* dilatih untuk mengestimasi probabilitas perubahan lahan berdasarkan faktor pengaruh seperti jarak ke jalan dan kedekatan ke pusat aktivitas. Model *Artificial Neural Network-Cellular Automata* dipilih karena kemampuannya dalam mempelajari pola kompleks dan meningkatkan akurasi simulasi pada wilayah dengan dinamika sosial-ekonomi tinggi seperti kawasan pesisir. Simulasi dijalankan menggunakan perangkat lunak Quantum GIS 3.42.2-Munster, dan *Plugin Molusce* versi 5.1.0. Batasan dalam penelitian ini hanya mengkaji secara spasial temporal berbasis data citra tanpa melihat dampak ekologis dikarenakan keterbatasan data tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis spasial yang dilakukan pada wilayah Pulau Mansinam menunjukkan adanya dinamika perubahan penggunaan lahan yang cukup signifikan dalam periode proyeksi antara tahun 2025 dan 2031.

Penelitian ini memanfaatkan perangkat lunak QGIS sebagai platform analisis utama, dipadukan dengan metode *Artificial Neural Network-Cellular Automata* melalui fitur *MOLUSCE* (Modules for Land Use Change Evaluation) (6). Pendekatan ini memungkinkan pemodelan perubahan penggunaan lahan secara prediktif, sehingga dapat memberikan gambaran yang mendekati kondisi aktual di masa depan. Proses klasifikasi dibantu dengan menggunakan perangkat lunak Snap 12.0.1.

Data citra Sentinel akuisisi tahun 2019, 2022 dan 2025 kemudian dilakukan klasifikasi terbimbing dengan algoritma *Minimum Distance*. Algoritma ini dipilih karena pada daerah penelitian yang merupakan pulau kecil, dan hasil *trial and error* beberapa algoritma selain *Minimum Distance* secara visual dan hasil sampling lapangan menunjukkan bahwa *Minimum distance* lebih mendekati keadaan lapangan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta klasifikasi metode minimum *distance* Pulau Mansinam

Berdasarkan hasil perhitungan algoritma ini memiliki tingkat akurasi sebesar 87,82% pada lokasi penelitian. Hasil yang klasifikasi menunjukkan pada tahun 2019 luas lahan terbuka dan pemukiman sebesar 35,46 hektar dan lahan tertutup sebesar

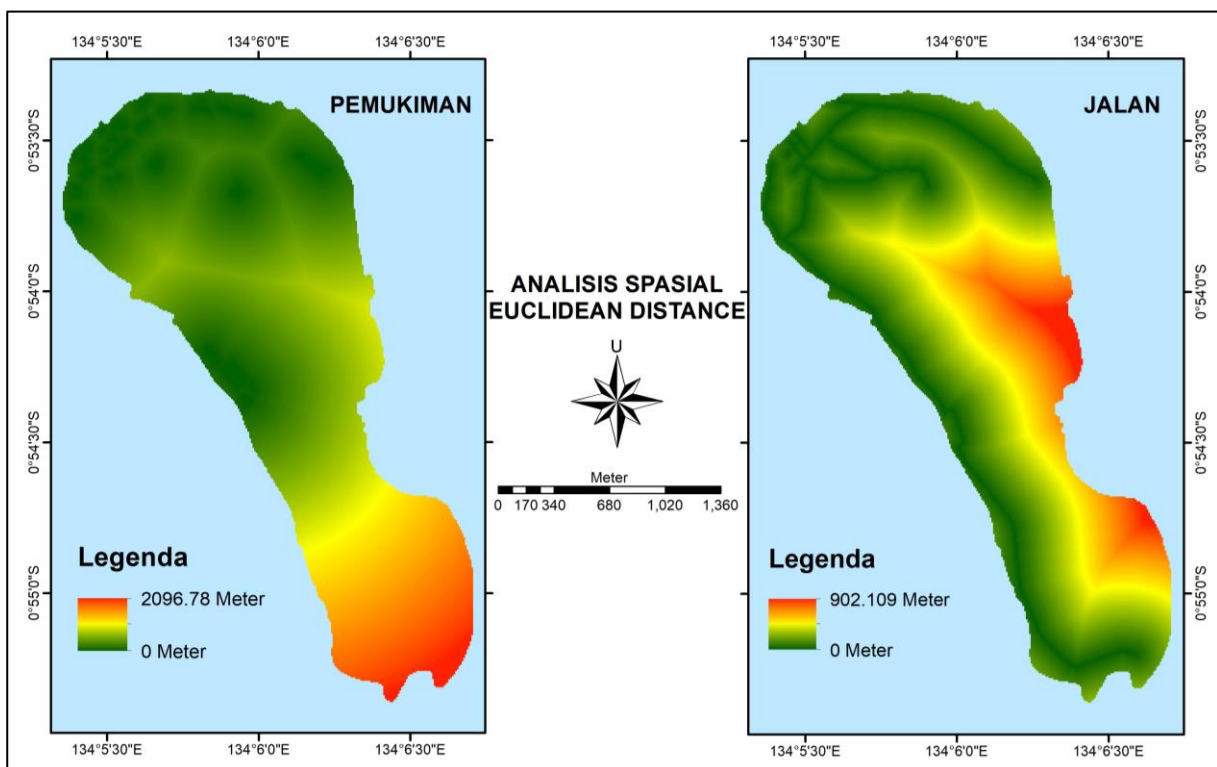
369.56. Pada tahun 2022 Pulau Mansinam mengalami degradasi lahan dimana dapat dilihat berdasarkan data 2025 lahan terbuka dan pemukiman menjadi 37,48 ha dan lahan tertutup vegetasi berubah menjadi 367, 89 ha. Pada tahun 2025 lahan terbuka dan

pemukiman berubah menjadi 42.41 ha dan lahan tertutup vegetasi menjadi 360,69 ha. Berdasarkan data *Multitemporal* tersebut maka laju perubahan lahan di Pulau Mansinam dari tahun 2019 sampai tahun 2025 sebesar 6,95%. Dalam melakukan analisis dengan metode *Artificial Neural Network-Cellular Automata* dibutuhkan analisis spasial jaringan jalan dan pemukiman eksisting, karena jalan dan pemukiman merupakan variabel yang mempengaruhi percepatan pembangunan, umumnya dipicu oleh adanya akses jalan dan pemukiman yang telah ada. *Euclidean Distance* digunakan untuk memanipulasi Jaringan jalan dan pemukiman yang kemudian akan digunakan sebagai variabel dalam metode *Artificial Neural Network-Cellular Automata* seperti di Gambar 2 (7, 8).

Proses pengelolaan dan kalkulasi data spasial ini menggunakan perangkat lunak QGIS. Keseluruhan variabel yang digunakan dalam analisis *Artificial Neural Network-Cellular Automata* adalah resolusi spasial sebesar 10 meter, yang disesuaikan dengan resolusi spasial dari citra sentinel-2 yaitu sebesar 10 meter. Geometri keseluruhan data harus sama secara resolusi spasial dan luasan objek penelitian, hal ini

dimaksudkan agar menghilangkan eror yang disebabkan oleh perbedaan resolusi spasial dan geometri data yang digunakan. Proses untuk analisis menggunakan *plugin Molusce* versi 5.1.0 (9), semua data diinput pada *molusce*, untuk *Initial* atau data penutup lahan awal menggunakan data 2019, untuk final digunakan tahun 2022, selisih yang digunakan adalah tiga tahun, hal ini agar proses validasi model dapat menggunakan data tahun 2025 sebagai validator model yang dibuat. Model harus melalui beberapa tahapan pemeriksaan sebelum dapat digunakan, antara lain pengecekan geometri dan perubahan bentuk lahan berdasarkan data yang telah diinput. Kelas statistik yang telah diproses kemudian digunakan untuk proses *transition potential modelling*, dimana hasil kelas statistik dapat dilihat pada Tabel 1. Setelah kelas statistik diperoleh, kemudian dilakukan proses *Transition Potential Modelling*.

Penelitian ini menggunakan 500 sampel dan mode yang dipilih adalah *Random Sampling* dan metode yang digunakan adalah *Artificial Neural Network*. Nilai validasi *kappa* yang diperoleh dari data yang digunakan adalah 0,92938 (10).



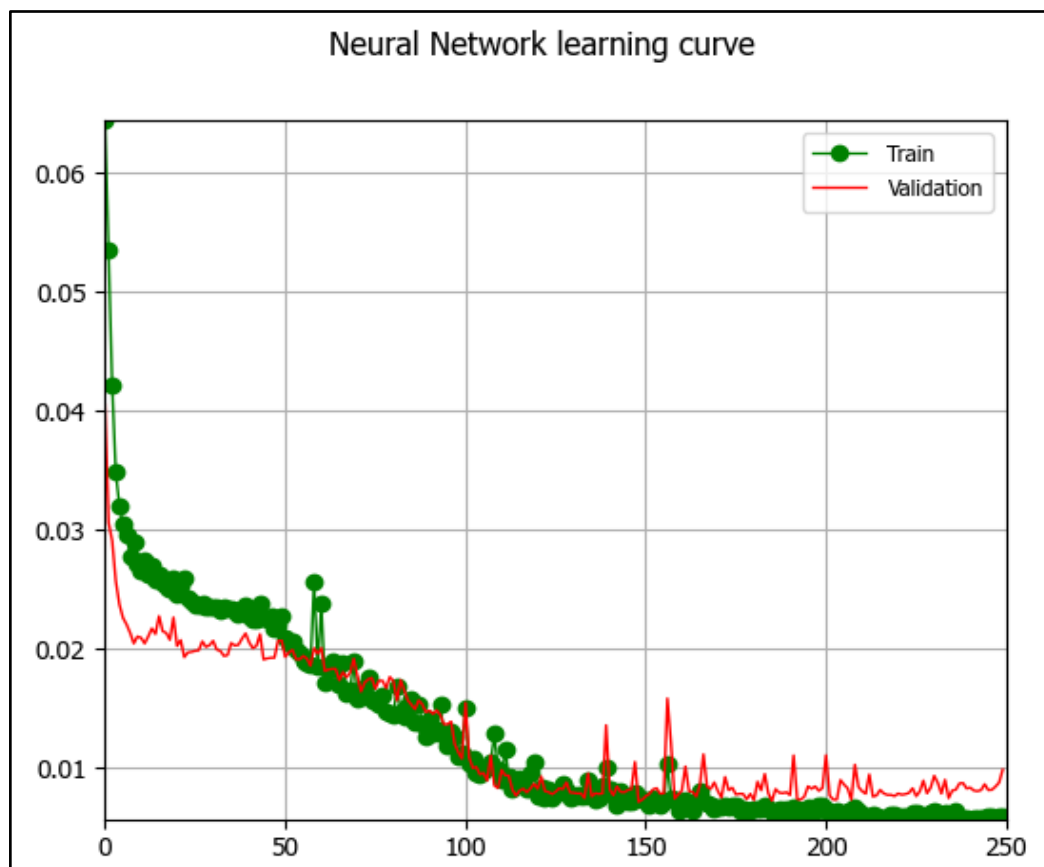
Gambar 2. Analisis spasial *euclidean distance*

Tabel 1 Class statistic

Kelas Lahan	2019 (ha)	2022 (ha)	Δ (ha)	2019 (%)	2022 (%)	Δ (%)
Lahan Terbuka	35.46	37.48	2.02	8.66167	9.155084394	0.493417035
Lahan Tertutup	369.56	367.89	-1.67	90.2709	89.86296685	-0.40792398
Perairan Dangkal	4.37	4.02	-0.35	1.06744	0.981948753	-0.08549305

Nilai ini menunjukkan bahwa variabel yang akan digunakan sebagai model memiliki tingkat akurasi yang tinggi sehingga model simulasi yang dikerjakan akan sesuai dengan keadaan yang nyata. Grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3 dapat menjadi acuan bahwa hasil dari data train dan validator memiliki keterkaitan yang cukup erat. Metode yang digunakan dalam proses ini adalah *Artificial Neural Network* dengan proses *Multi-layer Perception* dimana

persepsi tiap tahun digunakan untuk proses training. Proses pembelajaran berdasarkan data input yang telah didapatkan menjadi panduan untuk *Cellular Automata* melakukan *modeling* untuk prediksi perubahan lahan tahun 2028 dan 2031 (11) Model tahun 2025 yang telah disimulasikan oleh *Cellular Automata* perlu dilakukan validasi. Hasil validasi dengan data validator tahun 2025 didapatkan hasil *Percent of Correctness* 89,96%



Gambar 3. Neural network learning curve

Percent of correctness tersebut dapat menjadi dasar untuk melakukan proses simulasi untuk tahun yang akan datang. Hasil simulasi yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2. Dari hasil pemodelan berdasarkan luasan perubahan lahan pada tahun 2025 ke tahun 2028 terlihat adanya lahan yang awalnya terbuka sebesar 42,41 ha berubah menjadi 43.85 ha seperti terlihat pada Gambar 4.

Tabel 2. Hasil simulasi perubahan lahan pulau mansinam

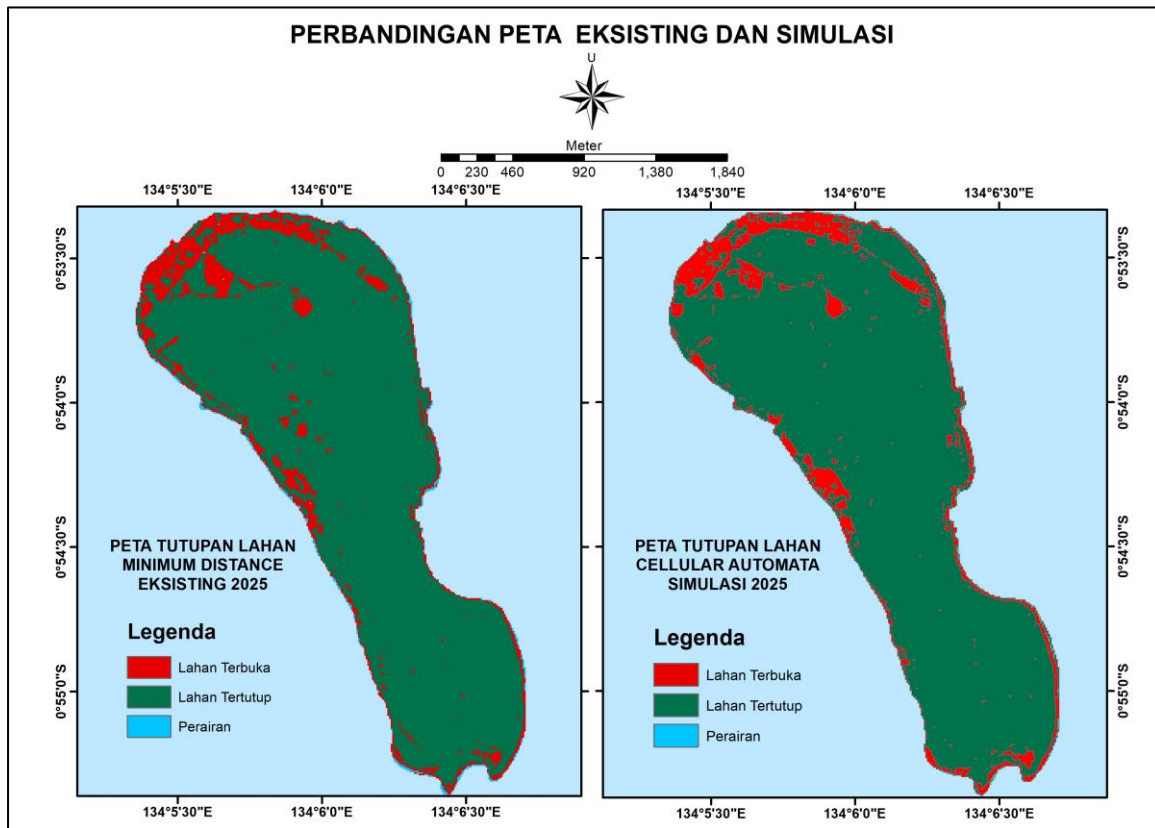
Kelas Lahan	Simulasi 2025	Simulasi 2028	Simulasi 2031
	(ha)		
Lahan Terbuka	43.85	42.62	42.64
Lahan Tertutup	360.39	362.96	362.94
Perairan Dangkal	1.56	3.81	3.81

Hal ini menandakan vegetasi kembali tumbuh pada beberapa lokasi. Namun pada tahun 2028 ke tahun 2031 diprediksi adanya pembukaan lahan di beberapa lokasi yang perubahannya tidak signifikan yaitu 0,02 ha. Hasil pengolahan data dapat dilihat pada Gambar 5. Untuk lahan yang tertutup vegetasi disimulasikan pada tahun 2025 ke tahun 2028 terjadi penambahan vegetasi sebesar 2.57 ha, dapat diartikan bahwa terdapat beberapa lokasi yang vegetasinya tumbuh kembali.

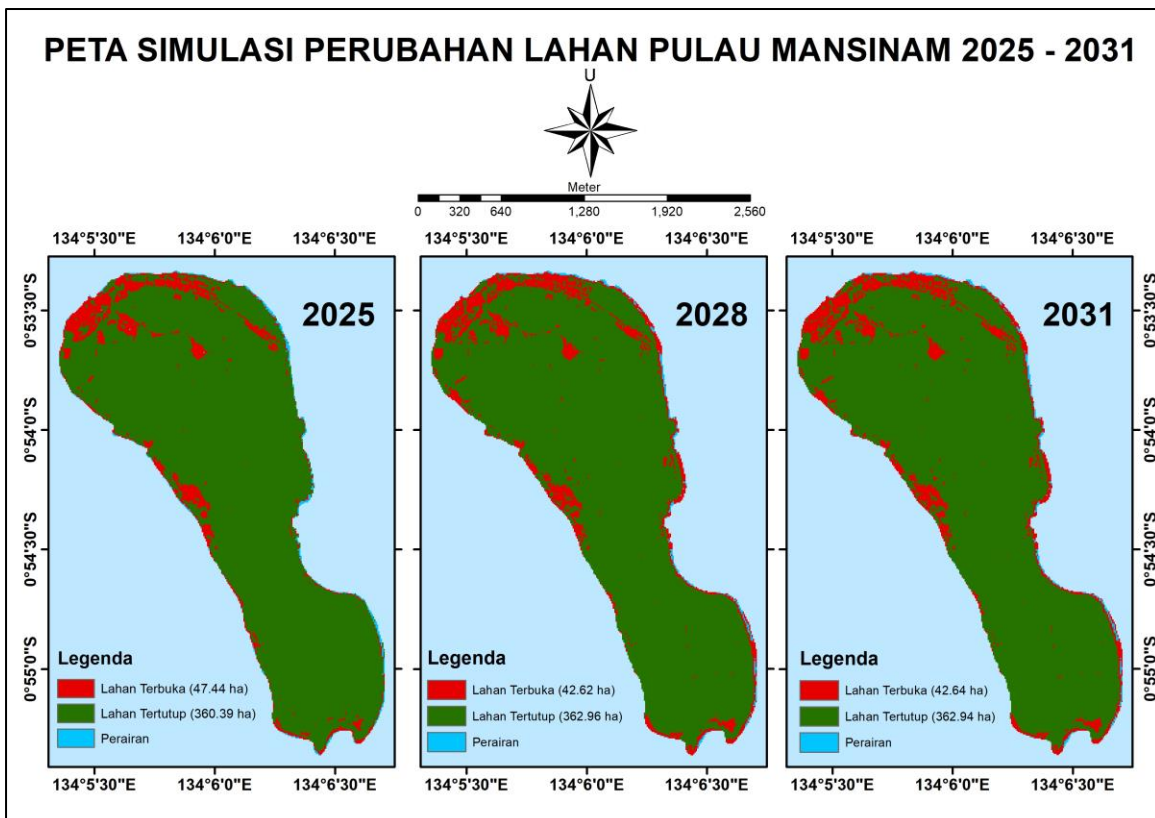
Untuk perairan sendiri tidak dilakukan proses analisis dikarenakan penelitian ini hanya berfokus pada perubahan yang berada pada daratan. Kelas perairan dapat muncul karena di beberapa lokasi terdapat kelas perairan yang tercakup di dalam proses simulasi. Berdasarkan hasil simulasi percepatan perubahan lahan di Pulau Mansinam tergolong lambat, karakter pulau yang relatif kecil dan fasilitas yang kurang lengkap membuat pembangunan di Pulau Mansinam terkesan lamban.

Hasil prediksi laju perubahan lahan dengan metode ini memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan skenario yang sesuai dengan keadaan lapangan. Hal ini disebabkan oleh prediksi dengan metode ini tidak

mempertimbangkan faktor kebijakan, sosial, ekonomi dan zona ekologi yang ada pada lokasi Pulau Mansinam.



Gambar 4. Perbandingan peta *eksisting* dan simulasi



Gambar 5. Peta Simulasi perubahan lahan Pulau Mansinam

KESIMPULAN

Penelitian ini secara garis besar memanfaatkan data penginderaan jarak jauh. Data yang digunakan adalah citra sentinel-2 yang telah dikoreksi *Surface Reflectance*. Berdasarkan metode klasifikasi terbimbing *Minimum Distance* didapatkan laju degradasi lahan dari tahun 2019 ke tahun 2025 sebesar 6,95%. Hasil nilai *Validation Kappa* untuk *Transition Potential Modelling* didapatkan angka sebesar 0.92938. Hasil validasi *Cellular Automata simulation* didapatkan sebesar 89,96%.

Perubahan lahan pada tahun 2025 ke tahun 2028 terlihat adanya lahan yang awalnya terbuka sebesar 42,41 ha berubah menjadi 43.85 ha. Hal ini menandakan vegetasi kembali tumbuh pada beberapa lokasi. Namun pada tahun 2028 ke tahun 2031 diprediksi adanya pembukaan lahan di beberapa lokasi dengan perubahan yang sangat kecil yaitu 0,02 ha. Untuk lahan yang tertutup vegetasi disimulasikan pada tahun 2025 ke tahun 2028 terjadi penambahan vegetasi sebesar 2.57 ha, dapat diartikan bahwa terdapat beberapa lokasi yang vegetasinya tumbuh kembali. Percepatan perubahan lahan di Pulau Mansinam tergolong lambat, karakter Pulau yang relatif kecil dan fasilitas yang kurang lengkap membuat Pulau Mansinam tidak mengalami pembangunan yang substansial.

PERNYATAAN KONTRIBUSI

Setiap penulis memiliki peranan dan memberikan kontribusi dalam penelitian ini. Penulis 1 merancang, mengolah data, memvalidasi dan memvisualisasikan data. Penulis 2 merencanakan, mengumpulkan data, dan dokumentasi. Penulis 3 mengolah data dan pelaporan. Penulis 4 sebagai koordinator lapangan dan fasilitator. Penulis 5 mengolah dan menganalisis data spasial. Penulis 6 mengumpulkan data dan memvalidasi data lapangan. Penulis 7 berperan sebagai bagian logistik dan dokumentasi. Penulis 8 sebagai pelaksana kegiatan, koordinator tim survei dan menyusun laporan. Penulis 9 membantu proses penyusunan artikel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Ketua LPPM Universitas Papua, Prof. Ir. Freddy Pattiselano, M.Sc., Ph.D., atas dukungan, arahan, dan fasilitasi yang diberikan. Terima kasih juga disampaikan kepada Ibu Kepala Kampung, Weli Rumsayor, beserta seluruh masyarakat yang telah menerima kami dengan hangat, serta memberikan dukungan penuh. Apresiasi diberikan kepada seluruh Tim KKN yang telah bekerja sama dengan penuh dedikasi, semangat, dan kekompakan.

DAFTAR REFERENSI

- [1]. Awaliyan, M. R., Sulistioadi, Y. B. (2018). Klasifikasi Penutupan Lahan pada Citra Satelit Sentinel-2a dengan Metode Tree Algorithm. *ULIN Jurnal Hutan Tropis*. 2(2). pp 98-104. <https://doi.org/10.32522/u-jht.v2i2.1363>
- [2]. Mandowen, R. G., Mambrasar, R. H. (2021). Sistem Informasi Geografi untuk Analisis Potensi Sumber Daya Lahan Pesisir Kepulauan Padaido Kabupaten Biak Numfor, Papua. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*. 8(5). pp 895-906. <https://doi.org/10.25126/jtiik.202183559>
- [3]. Septiani, R., Citra, I. P. A., Nugraha, A. S. A. (2019). Perbandingan Metode Supervised Classification dan Unsupervised Classification terhadap Penutup Lahan di Kabupaten Buleleng. *Jurnal Geografi*. 16(2). pp 90-96. <https://doi.org/10.15294/jg.v16i2.19777>
- [4]. Abinaya, V., Poonkuntran, S. (2019). Classification of Satellite Image using Minimum Distance Classification Algorithm. *SSRG International Journal of Computer Science and Engineering. Special Issue ICTER Mar 2019*. pp 15-18.
- [5]. Kusniawati, I., Subiyanto, S., Amarrohman, F. J. (2019). Analisis Model Perubahan Penggunaan Lahan Menggunakan Artificial Neural Network Di Kota Salatiga. *Jurnal Geodesi Undip*. 9(1). pp 1-11. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2020.26026>
- [6]. Kumari, S., Roy, A. (2025). Simulation of Land Use and Land Cover Using the MOLUSCE Plugin Integrated with QGIS for the Western Himalayan Region of India. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-M-5-2024, pp 81–85, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-5-2024-81-2025>
- [7]. Buchori I, Sukamto. (2018). Model Proyeksi Perubahan Penggunaan Lahan Kawasan Koridor Jalan Utama Berbasis Cellular Automata dan SIG. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*. 14(4). pp 307-322. <https://doi.org/10.14710/pwk.v14i4.19618>
- [8]. Maria, E., Budiman, E., Haviluddin, Taruk, M. (2020). Measure Distance Locating Nearest Public Facilities Using Haversine and Euclidean Methods. *Journal of Physics: Conference Series*. 1450 012080. pp 1-7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1450/1/012080>
- [9]. Ramadan, G. F., Hidayati, I. N. (2022). Prediction and Simulation of Land Use and Land Cover Changes Using Open Source QGIS. A Case Study of Purwokerto, Central Java, Indonesia. *Indonesian Journal of Geography*. 54(3). pp 344–351. <https://doi.org/10.22146/ijg.6870>

- [10]. Mehra, N., Swain, J. B. (2024). Assessment of Land Use Land Cover Change and its Effects Using Artificial Neural Network-Based Cellular Automation. *Journal of Engineering and Applied Science*. 71(70). pp 1-17. <https://doi.org/10.1186/s44147-024-00402-0>
- [11]. Kafi, A. A., Naim, M. N. H., Subramanyam G., et al. (2021). Cellular Automata approach in Dynamic Modelling of Land Cover Changes Using Rapideye Images in Dhaka, Bangladesh. *Environmental Challenges*. 4(2). pp 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100084>