

Pemodelan perubahan tutupan lahan berbasis *Artificial Neural Network* (ANN) pada mangrove di Kabupaten Teluk Bintuni

Land cover change modeling based on Artificial Neural Network (ANN) on mangroves in Teluk Bintuni Regency

Awalludin Ramdhan^{1*}, Obed N. Lense², Renny Purnawati²

AFFILIASI

¹Pascasarjana Universitas
Papua, Manokwari

²Fakultas Kehutanan,
Universitas Papua, Manokwari

*Korespondensi:

awalludin.ramdhan@gmail.com

ABSTRACT

This study discusses mangrove forest land cover change in Teluk Bintuni Regency using Artificial Neural Network (ANN) modeling. Bintuni Bay has one of the largest mangrove ecosystems in the world, covering more than 220,000 hectares, making it critical for carbon storage and climate change mitigation. This study used geospatial data from the Indonesian Ministry of Environment and Forestry, combined with drivers such as distance from roads, settlements, rivers, and topography. The ANN model achieved high accuracy with a kappa index of 0.94 and an overall accuracy of 95.85%. The model predicted changes in mangrove cover between 2022 and 2030. The area of primary mangrove forest is projected to decrease by 10.29%, while secondary mangrove forest increases by 5.36%. The analysis reveals alarming impacts on carbon stocks. Total carbon stocks are expected to decrease by 6.51% or by 2,206,344.54 Mg C from 2022 to 2030. These findings highlight the need for targeted conservation strategies in the Bintuni Bay mangrove ecosystem. Projected changes not only affect carbon storage but also impact biodiversity, habitat quality, and ecosystem services, emphasizing the importance of effective management practices to sustain these globally important mangrove forests.

KEYWORDS: Artificial Neural Network, Mangrove, Carbon Storage, Land cover change modeling

ABSTRAK

Kajian ini membahas perubahan tutupan lahan hutan mangrove di Kabupaten Teluk Bintuni dengan menggunakan pemodelan Artificial Neural Network (ANN). Teluk Bintuni memiliki salah satu ekosistem mangrove terbesar di dunia, dengan luas lebih dari 220.000 hektar, sehingga sangat penting untuk penyimpanan karbon dan mitigasi perubahan iklim. Kajian ini menggunakan data geospasial dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia, yang dikombinasikan dengan faktor pendorong seperti jarak dari jalan, pemukiman, sungai, dan topografi. Model ANN mencapai akurasi yang tinggi dengan indeks kappa sebesar 0,94 dan akurasi keseluruhan sebesar 95,85%. Model ini memprediksi perubahan pada tutupan mangrove antara tahun 2022 dan 2030. Luas hutan mangrove primer diproyeksikan berkurang 10,29 %, sementara hutan mangrove sekunder meningkat sebesar 5,36 %. Analisis ini mengungkapkan dampak yang mengkhawatirkan terhadap cadangan karbon. Total cadangan karbon diperkirakan akan menurun 6,51 % atau sebesar 2.206.344,54 Mg C dari tahun 2022 ke tahun 2030. Temuan-temuan ini menyoroti perlunya strategi konservasi yang tepat sasaran di ekosistem mangrove Teluk Bintuni. Perubahan yang diproyeksikan tidak hanya mempengaruhi penyimpanan karbon tetapi juga berdampak pada keanekaragaman hayati, kualitas habitat, dan jasa ekosistem, yang menekankan pentingnya praktik pengelolaan yang efektif untuk mempertahankan hutan mangrove yang penting secara global ini.

KATA KUNCI: Artificial Neural Network, Mangrove, Cadangan Karbon, Model Perubahan Tutupan Lahan.

Diterima : 04-01-2025

Disetujui : 31-01-2025

COPYRIGHT @ 2025 by
Agricola: Jurnal Pertanian.

This work is licensed under a
Creative Commons Attributions
4.0 International License

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Teluk Bintuni memiliki salah satu hutan mangrove terbesar di dunia, kedua setelah Sundarbans di Bangladesh, dengan luas lebih dari 220.000 ha (Murdiyarso *et al.*, 2021; Yudha *et al.*, 2022). Mangrove di wilayah ini menunjukkan nilai ekologi yang luar biasa, dengan keanekaragaman spesies yang tinggi, mencakup

25 famili, 47 marga, dan 57 spesies mangrove sejati serta asosiasi mangrove (Kasihiw *et al.*, 2023). Mangrove diketahui dapat menyerap karbon dengan jumlah jauh lebih tinggi daripada hutan terestial karena sistem perakarannya yang lebat dan kondisi tanah anaerobik, yang memperlambat penguraian bahan organik.

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa ekosistem mangrove dapat menyimpan antara 1.000 hingga 2.000 Mg C ha⁻¹ (Pham *et al.*, 2020; Larekeng *et al.*, 2024). Namun, ekosistem ini semakin terancam oleh perubahan penggunaan lahan seperti pembangunan perkotaan, pertanian, dan akuakultur. Perubahan tersebut tidak hanya mengurangi luas hutan mangrove, tetapi juga melepaskan sejumlah besar karbon yang tersimpan ke atmosfer, sehingga memperparah perubahan iklim (Sasmitho *et al.*, 2019; Choudhary *et al.*, 2024).

Pendekatan melalui integrasi teknologi penginderaan jauh dan teknik *machine learning* seperti *artificial neural network* (ANN) sangat menjanjikan untuk memantau dan memprediksi perubahan tutupan lahan di area mangrove. ANN dapat memproses kumpulan data yang besar dari citra satelit untuk mengidentifikasi pola dan tren perubahan tutupan lahan dari waktu ke waktu. Sebagai contoh, sebuah penelitian yang dilakukan di Vietnam menggunakan citra Sentinel-2 yang dikombinasikan dengan algoritma *machine learning* untuk memperkirakan total cadangan karbon pada tanah mangrove secara akurat (Pham *et al.*, 2020). Hasil tersebut menyoroti potensi teknik pemodelan dalam memprediksi dinamika tutupan lahan mangrove dan perannya dalam penyimpanan karbon.

Ekosistem mangrove di Kabupaten Teluk Bintuni tidak hanya penting bagi keanekaragaman hayati lokal tetapi juga sebagai sumber ekonomi bagi masyarakat lokal. Kondisi geografis dan iklim yang unik di wilayah ini berkontribusi pada beragam spesies mangrove, masing-masing dengan kapasitas yang berbeda-beda dalam menyimpan karbon (Kasihiw *et al.*, 2024). Oleh karena itu, menilai dampak perubahan tutupan lahan terhadap ekosistem ini sangat penting untuk strategi konservasi yang efektif dan praktik pengelolaan yang berkelanjutan.

Selain itu, potensi pasar *blue carbon* di mana kredit karbon dapat diperdagangkan berdasarkan konservasi dan restorasi ekosistem pesisir, memberikan insentif ekonomi untuk melestarikan hutan mangrove. Dengan menghitung cadangan karbon yang terkait dengan berbagai jenis tutupan lahan melalui pemodelan ANN, para pemangku kebijakan dapat lebih memahami nilai finansial dari pemeliharaan ekosistem mangrove (Sasmitho *et al.*, 2019; Ghorbanian *et al.*, 2022). Perspektif ekonomi ini dapat mendorong keputusan kebijakan yang memprioritaskan upaya konservasi sekaligus memenuhi kebutuhan masyarakat lokal.

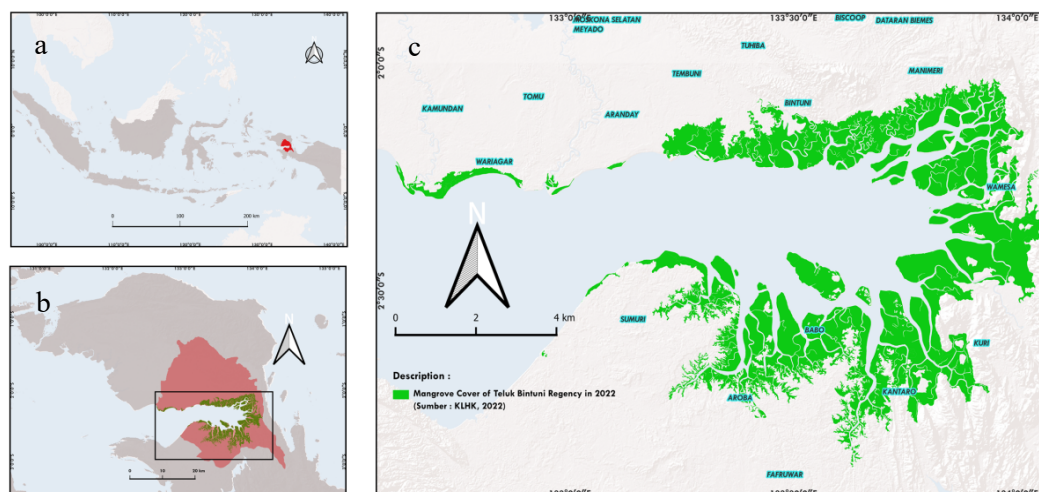
Hubungan antara perubahan tutupan lahan dan cadangan karbon sangat kompleks dan dipengaruhi oleh berbagai faktor pendorong termasuk jenis tanah, hidrologi, dan komposisi spesies. Berbagai penelitian telah mengindikasikan bahwa perubahan penggunaan lahan dapat menyebabkan penurunan biomassa dan cadangan karbon tanah secara signifikan. Sebagai contoh, telah dilaporkan kehilangan biomassa mencapai hingga 82% setelah konversi ke penggunaan lahan lainnya (Sasmitho *et al.*, 2020). Selain itu, meskipun upaya restorasi dapat memfasilitasi pemulihan biomassa karbon selama beberapa dekade, cadangan karbon tanah membutuhkan waktu yang lebih lama untuk terbentuk kembali (Bukoski *et al.*, 2022).

Kajian ini bertujuan untuk memprediksi perubahan tutupan lahan dan kaitannya dengan cadangan karbon di hutan mangrove Teluk Bintuni dengan berbasis teknik pemodelan *artificial neural network*. Melalui analisa data historis dan memprediksi skenario masa depan berdasarkan tren saat ini, kajian ini akan memberikan wawasan mengenai keberlanjutan ekosistem penting ini di tengah perubahan lingkungan yang sedang berlangsung. Kajian ini tidak hanya berkontribusi pada literatur akademis tetapi juga mendukung pembuatan kebijakan yang bertujuan untuk melestarikan ekosistem penting ini sambil memaksimalkan potensinya sebagai penyerap dan penyimpan cadangan karbon.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi kajian dilakukan pada tutupan lahan mangrove Kabupaten Teluk Bintuni, Papua Barat, Indonesia (Gambar 1). Mangrove di wilayah ini merupakan salah satu ekosistem mangrove terbesar di dunia yaitu lebih dari 220.000 hektar (Ditjen PDASRH, 2021). Suhu terendah dan tertinggi pada wilayah ini tercatat 20°C di bulan Mei dan 38°C di bulan Oktober, sedangkan curah hujan tahun 2023 berkisar 55.80 mm s/d 235,90 mm (BPS, 2024).



Gambar 1. Peta lokasi kajian : a) Administrasi Indonesia; b) Administrasi Kabuptaen Teluk Bintuni; c) Area kajian tutupan lahan mangrove di Kabupaten Teluk Bintuni

2.2. Pengumpulan dan Sumber Data

Peta penutupan lahan mangrove Kabupaten Teluk Bintuni tahun 2014, 2018 dan tahun 2022 diidentifikasi melalui Sistem Informasi Geospasial Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (<https://geoportal.menlhk.go.id/> di akses tanggal 30 September 2024). Faktor pendorong perubahan penutupan lahan dibagi menjadi 3 kelas yaitu faktor alam, faktor lahan terbangun, dan faktor sosial-ekonomi (Kim *et al.*, 2020). Dalam kajian ini faktor pendorong yang digunakan berupa jarak dari jalan, jarak dari pemukiman, dan jarak dari sungai yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia (<http://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/> di akses 5 Oktober 2024). Sedangkan faktor pendorong berupa DEM (*Digital Elevation Model*) dan kemiringan lahan diperoleh dari citra SRTM (<https://earthexplorer.usgs.gov/> di akses tanggal 10 Oktober 2024). Seluruh data yang didapat diubah juga menjadi format raster dengan resolusi spasial 100 m x 100 m.

Tabel 1. Sumber data kajian

Data	Informasi yang diperoleh	Waktu akuisisi	Sumber
Tutupan mangrove	Mangrove Primer dan sekunder (<i>shapefile</i>)	30 September 2024	https://geoportal.menlhk.go.id/
Faktor pendorong	Jarak dari jalan, jarak dari pemukiman, dan jarak dari sungai (<i>shapefile</i>)	5 Oktober 2024	http://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/
	<i>Digital Elevation Model</i> dan kemiringan lahan (raster)	10 Oktober 2024	https://earthexplorer.usgs.gov/

2.3. Proses dan Analisis Data

Proses dan analisis perubahan lahan mangrove dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak QGIS versi 3.36.3 *Maidenhead* dengan sudah terpasang plugin *MOLUSCE*. Proses klasifikasi tutupan lahan mangrove mengacu PERDIRJEN PLANOLOGI KEHUTANAN No : P.1/VII-IPSDH/2015 yaitu mangrove primer dan mangrove sekunder. Hasil klasifikasi kemudian dianalisis secara spasial untuk mengidentifikasi luasan mangrove untuk masing-masing tutupan lahan. Cadangan karbon diperoleh dengan cara menghubungkan luas tutupan lahan dengan nilai cadangan karbon berdasarkan dokumen *forest reference level* (FRL) yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Prediksi tutupan lahan mangrove di Kabupaten Teluk Bintuni menggunakan pendekatan *artificial neural network* (ANN) dalam aplikasi QGIS versi 3.36.3 dengan plugin *MOLUSCE*. Proses dimulai dengan memasukkan tutupan lahan mangrove tahun 2014 dan 2018 serta data faktor pendorong. Selanjutnya, dilakukan

evaluasi korelasi menggunakan *Pearson's correlation* untuk menilai hubungan antara faktor pendorong. Tahap berikutnya adalah analisis perubahan area untuk mengetahui perubahan luas pada setiap kelas tutupan lahan mangrove dan membuat matriks transisi.

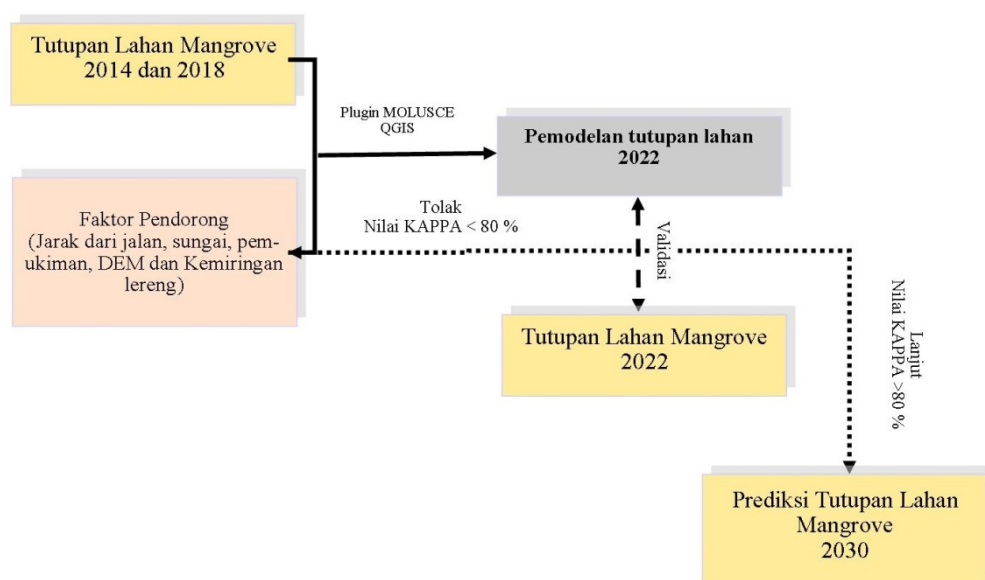
Tabel 2. Cadangan biomassa dan karbon pada hutan tutupan lahan mangrove di Papua

Tipe Hutan	Permukaan atas tanah		Permukaan bawah tanah		Total	
	Biomassa (Mg ha ⁻¹)	Karbon (Mg C ha ⁻¹)	Biomassa (Mg ha ⁻¹)	Karbon (Mg C ha ⁻¹)	Biomassa (Mg ha ⁻¹)	Karbon (Mg C ha ⁻¹)
Hutan mangrove primer	240,64	113,10	74,84	35,18	315,48	148,28
Hutan mangrove sekunder	150,13	70,56	17,26	8,11	167,39	78,67

Sumber : (DIRJEN PPI, 2022), konversi biomassa menjadi berat karbon menggunakan angka 0,47 (SNI : 7725:2019)

Pemodelan potensi transisi merupakan tahap krusial dalam proses ini, di mana metode *Artificial Neural Network* (ANN) sering digunakan (Febianti *et al.*, 2022; Idris & Saleh, 2024). Setelah pemodelan potensi transisi dibuat, dilakukan simulasi *Cellular Automata* untuk membuat model tutupan lahan mangrove tahun 2022. Validasi hasil pemodelan dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan data aktual berupa peta tutupan mangrove tahun 2022 yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menggunakan metode *Kappa statistic*.

Menurut Sim dan Wright (2005), parameter kappa mulai dari 0-0,2 menunjukkan sedikit kesepakatan, 0,21-0,40 menunjukkan kesepakatan yang cukup, 0,41-0,60 menunjukkan kesepakatan yang moderat, 0,61-0,80 menunjukkan kesepakatan substansial, dan nilai yang >0,80 menandakan kesepakatan yang hampir sempurna. Dalam kajian ini, jika nilai kappa yang didapat >0,8 maka peta pemodelan tersebut dapat dilanjutkan untuk memprediksi tutupan lahan mangrove tahun 2030. Proses pembentukan model prediksi tutupan lahan mangrove tahun 2030 dapat dilihat pada Gambar 2.

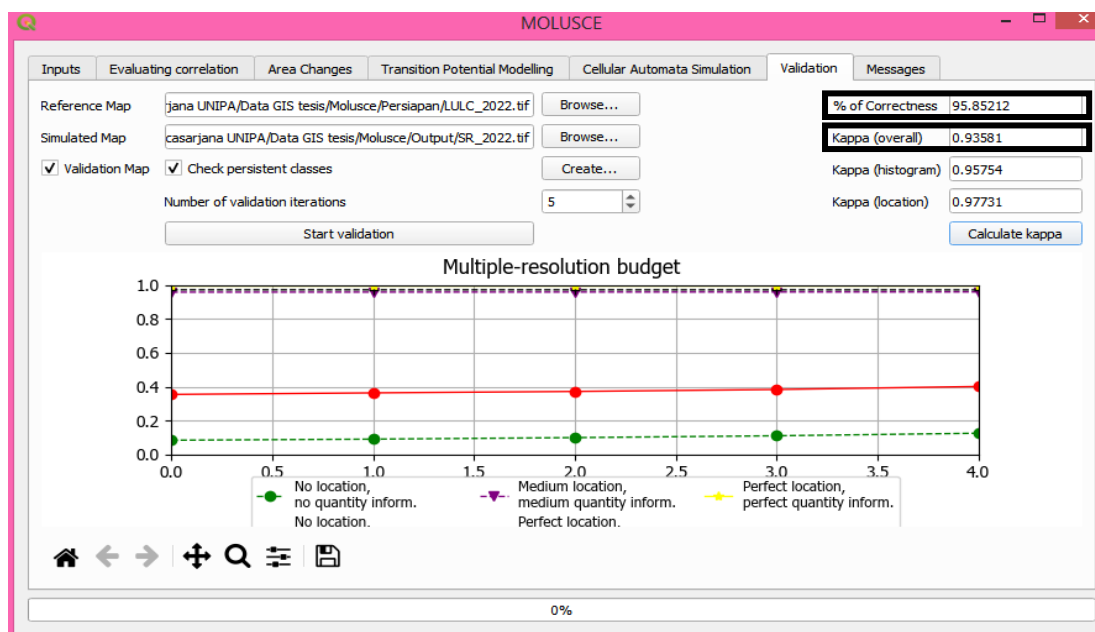


Gambar 2. Proses prediksi tutupan lahan mangrove tahun 2030 menggunakan MOLUSCE

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan perubahan tutupan lahan mangrove di Kabupaten Teluk Bintuni dengan pendekatan metode *Artificial Neural Network* (ANN) telah menghasilkan temuan yang signifikan terkait dinamika ekosistem mangrove di wilayah tersebut. Hasil validasi menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi, dengan indeks kappa sebesar 0,94 dan persentase ketepatan keseluruhan sebesar 95,85% (Gambar 3). Akurasi yang tinggi ini (>0,80)

menunjukkan bahwa model tersebut dapat digunakan untuk memprediksi tutupan lahan mangrove pada tahun 2030.



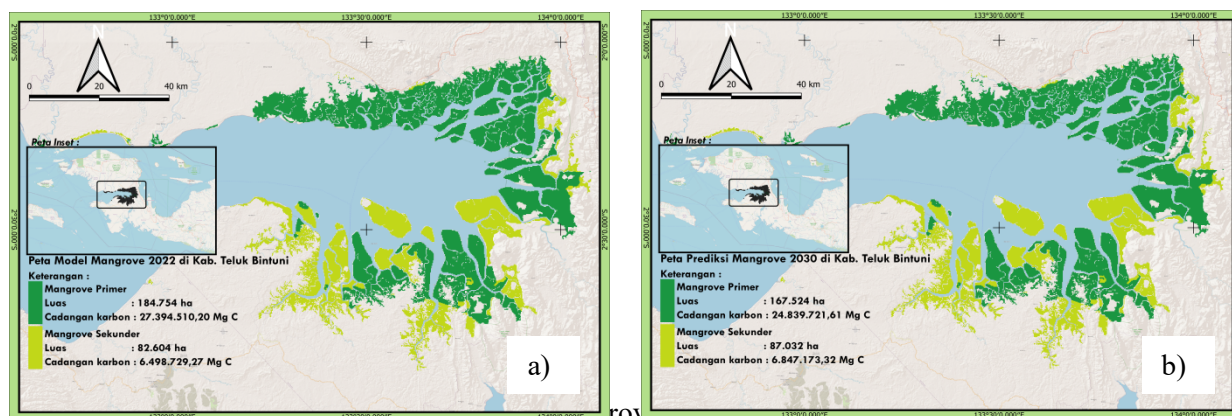
Gambar 3. Validasi peta pemodelan dengan peta referensi menggunakan MOLUSCE pada tutupan lahan mangrove 2022

Analisis perubahan tutupan lahan antara tahun 2022 dan 2030 menunjukkan adanya transisi dalam ekosistem mangrove di Kabupaten Teluk Bintuni. Tabel 3 menunjukkan kawasan mangrove primer mengalami pengurangan sebesar 10,29 % dari 184.754 ha pada tahun 2022 menjadi 167.524 ha pada tahun 2030, sementara kawasan mangrove sekunder mengalami peningkatan sebesar 5,36 % dari 82.604 ha menjadi 87.032 ha. Pola perubahan ini mengindikasikan adanya tekanan antropogenik yang menyebabkan degradasi mangrove primer menjadi mangrove sekunder. Fenomena ini serupa dengan temuan Abbas *et al.*, (2021) yang mengidentifikasi pola konversi serupa di kawasan pesisir. Perubahan tutupan lahan dari tahun 2022 ke tahun 2030 dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 3. Perubahan tutupan lahan mangrove tahun 2022-2030

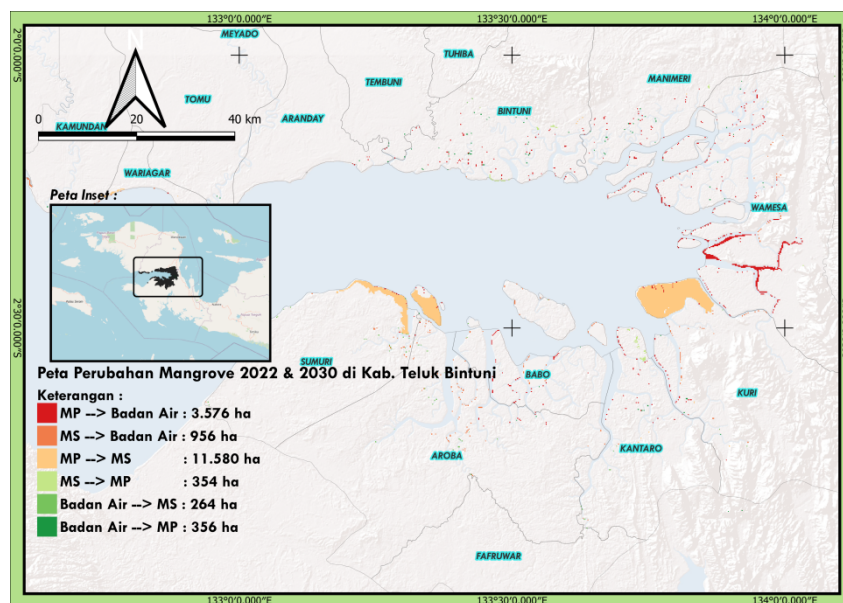
Kelas tutupan lahan	Luas tutupan lahan mangrove		Δ Luas (ha)	Δ Luas (%)
	2022 (Model)	2030 (Prediksi)		
Mangrove primer	184.754	167.524	-17.230	-10,29
Mangrove sekunder	82.604	87.033	4.429	5.36
Total	267.358	254.557	-12.801	-4,93

Sumber : Olahan data analisis spasial



tahun 2022 ; b) peta prediksi tahun 2030. (Sumber : Olahan data analisis spasial)

Analisis spasial dalam kajian ini menunjukkan adanya pola perubahan yang spesifik, yaitu dengan konversi 11.580 ha mangrove primer menjadi mangrove sekunder. Beberapa area mangrove juga mengalami konversi menjadi badan air yaitu 3.576 ha dari hutan mangrove primer dan 956 ha dari hutan mangrove sekunder. Pola ini menunjukkan adanya potensi erosi pantai atau dampak kenaikan permukaan laut. Sebaliknya, ada juga bukti perluasan mangrove di beberapa daerah, dengan 356 ha badan air yang berubah menjadi mangrove primer dan 264 ha menjadi mangrove sekunder (Gambar 5).



Gambar 5. Peta konversi tutupan lahan mangrove dari 2022 ke 2030; MP = Mangrove primer; MS = Mangrove sekunder. (Sumber : olahan data analisis spasial)

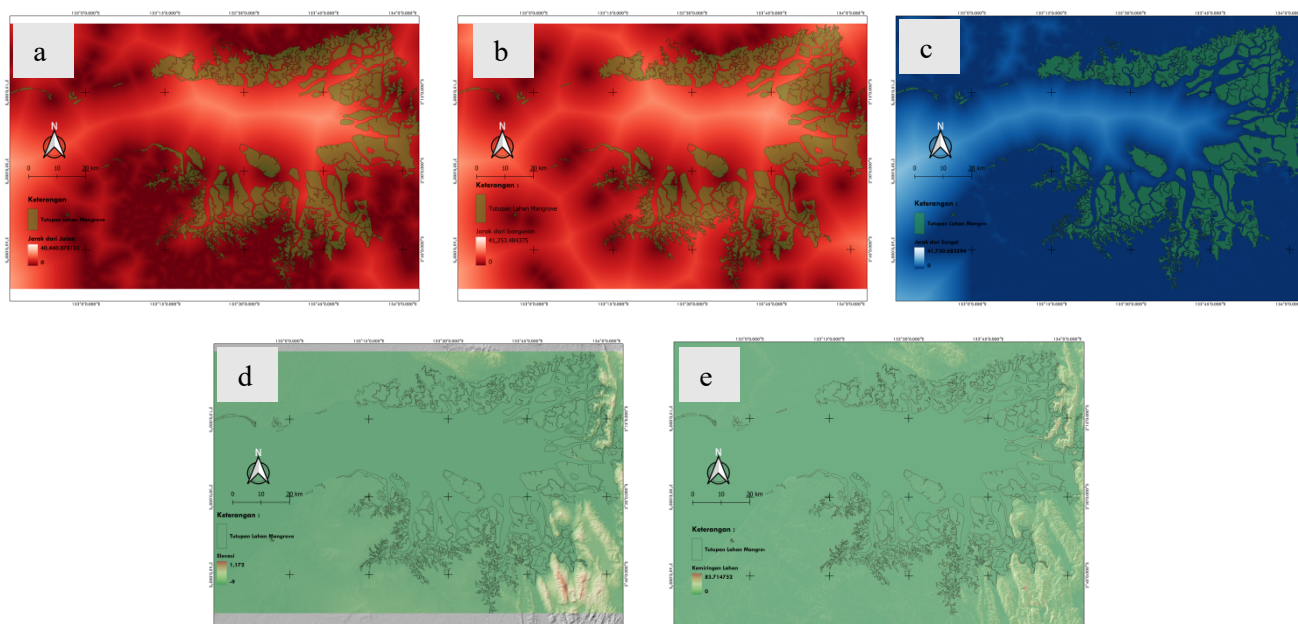
Perubahan tutupan lahan dipengaruhi oleh berbagai faktor pendorong. Faktor-faktor tersebut dianalisis dan korelasinya dihitung menggunakan *Pearson's correlation* untuk mengetahui hubungan perubahan tutupan lahan selama periode 2014-2018, yang kemudian digunakan untuk menghasilkan model tutupan lahan tahun 2022. Tabel 4 menunjukkan korelasi antara faktor jarak dari jalan dan jarak dari bangunan memiliki nilai koefisien paling tinggi yaitu 0,82. Hal ini sejalan dengan penelitian Muhammad *et al.*, (2022) yang menyatakan bahwa faktor aksesibilitas dan aktivitas antropogenik memiliki peran penting dalam dinamika perubahan tutupan lahan. Jarak dari jalan sebagai salah satu variabel pendorong menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap konversi lahan mangrove, terutama pada area yang berdekatan dengan infrastruktur transportasi (Buğday & Buğday, 2019). Visualisasi dari faktor-faktor pendorong tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 4. Koefisien Pearson's correlation dari faktor-faktor pendorong perubahan tutupan lahan mangrove di Kabupaten Teluk Bintuni

<i>Pearson's correlation</i>	Jarak dari sungai	Jarak dari Jalan	Jarak dari bangunan	DEM	Kemiringan lahan
Jarak dari sungai	-	0,72	0,57	-0,12	-0,15
Jarak dari Jalan		-	0,82	0,09	-0,02
Jarak dari bangunan			-	0,19	0,07
DEM				-	0,64
Kemiringan lahan					-

Selain faktor-faktor pendorong di atas, perubahan tutupan lahan mangrove juga dapat diakibatkan oleh beberapa kegiatan. Eksplorasi dan eksploitasi gas alam, pembangunan infrastruktur terkait, serta konversi lahan untuk budidaya perikanan (tambak) merupakan ancaman utama (Kasihiw *et al.*, 2023; Yudha, 2021). Pengembangan industri dan infrastruktur yang pesat, serta pertumbuhan populasi di kawasan tersebut juga dapat berdampak negatif pada ekosistem mangrove (Gandhi *et al.*, 2008). Meskipun penebangan selektif telah terbukti mempertahankan 70-75% stok karbon ekosistem (Murdiyarso *et al.*, 2021), perluasan kegiatan

ekstraksi sumber daya dan konversi lahan dalam skala besar tetap berpotensi mengurangi luas hutan mangrove secara signifikan jika tidak dikelola dengan baik.



Gambar 6. Faktor pendorong perubahan tutupan lahan mangrove : a) jarak dari bangunan; b) jarak dari jalan; c) jarak dari sungai; d) DEM; dan e) kemiringan lahan (sumber : analisis spasial)

Analisis stok karbon menunjukkan implikasi yang signifikan terhadap upaya mitigasi perubahan iklim. Pada tahun 2022, total cadangan karbon dihitung sebesar 33.893.239,48 Mg C, dengan proyeksi yang menunjukkan penurunan menjadi 31.686.894,93 Mg C pada tahun 2030, sehingga mengakibatkan kehilangan karbon sebesar 2.206.344,54 Mg C atau sebesar 6,5 % (Tabel 5). Temuan ini sejalan dengan penelitian Hidayah *et al.*, (2022) yang mengonfirmasi bahwa perubahan tutupan lahan mangrove memiliki implikasi langsung terhadap kapasitas penyimpanan karbon.

Tabel 5. Perubahan stok karbon mangrove tahun 2022-2030

Kelas tutupan lahan	Simpanan C (Mg C ha ⁻¹)*	Stok C tahun 2022 (Mg C)**	Stok C tahun 2030 (Mg C)**	Δ Stok C (Mg C)	Δ Stok C (%)
Mangrove primer	148,28	27.394.510,20	24.839.721,61	- 2.554.788,59	
Mangrove sekunder	78,67	6.498.729,28	6.847.173,32	348.444,05	
Total		33.893.239,48	31.686.894,93	- 2.206.344,54	-6,5

Sumber : data olahan *Forest Reference Level* 2022 (Dirjen PPI, 2022) dan analisis spasial. (* : total simpanan karbon atas dan bawah permukaan tanah; ** Hasil perkalian Simpanan C dengan luas mangrove tahun 2022 dan 2030).

Perubahan ekosistem mangrove memiliki implikasi lebih dari sekedar penyimpanan karbon. Penelitian telah menunjukkan bahwa perubahan tersebut dapat menyebabkan dampak kerugian ekonomi, keanekaragaman hayati, dan berkurangnya jasa ekosistem (Rahmawaty *et al.*, 2022; Dewiyanti *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2024). Berkurangnya luas mangrove juga dapat mengakibatkan berkurangnya habitat penting bagi berbagai jenis ikan, udang, dan kepiting yang bergantung pada ekosistem ini untuk berkembang biak dan mencari makan (Hutchison *et al.*, 2014). Hal ini berpotensi menurunkan stok sumber daya perikanan yang menjadi komoditas utama di Teluk Bintuni, seperti udang jerbung, kepiting bakau, dan kakap (Arebo & Inayah, 2023). Prediksi penurunan tutupan lahan mangrove di masa depan dapat mengancam keberlanjutan industri perikanan lokal yang menjadi tulang punggung ekonomi masyarakat pesisir.

Dalam upaya meminimalkan penurunan tutupan lahan mangrove di Teluk Bintuni ke depannya, beberapa rekomendasi dapat diajukan. Pertama, perlu adanya penguatan kebijakan dan penegakan hukum terkait perlindungan kawasan mangrove, termasuk pembatasan konversi lahan mangrove menjadi tambak atau penggunaan lain. Kedua, program rehabilitasi dan restorasi mangrove harus ditingkatkan dengan melibatkan partisipasi aktif masyarakat lokal, terutama di area yang telah mengalami degradasi (Bufedo & Elias, 2021). Ketiga, pengembangan alternatif mata pencaharian berkelanjutan bagi masyarakat pesisir, seperti ekowisata mangrove atau budidaya perikanan ramah lingkungan, dapat mengurangi tekanan terhadap ekosistem mangrove (Arebo & Inayah, 2023). Terakhir, peningkatan kesadaran dan edukasi masyarakat tentang pentingnya menjaga kelestarian mangrove perlu terus dilakukan untuk membangun dukungan jangka panjang dalam upaya konservasi.

Implementasi rekomendasi-rekomendasi ini diharapkan dapat membantu menjaga keseimbangan antara pemanfaatan dan pelestarian ekosistem mangrove di Teluk Bintuni. Selain itu, penggunaan *artificial neural network* dalam kajian ini menunjukkan efektivitas teknik pemodelan dalam memprediksi perubahan tutupan lahan. Validasi yang tinggi menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat memberikan proyeksi yang dapat diandalkan untuk perencanaan tata guna lahan dan strategi konservasi.

4. KESIMPULAN

Kajian ini memprediksi perubahan tutupan lahan dan kaitannya dengan cadangan karbon di hutan mangrove Teluk Bintuni menggunakan teknik pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN). Hasil pemodelan menunjukkan akurasi yang tinggi dengan indeks kappa 0,94 dan persentase ketepatan keseluruhan 95,85%, memberikan dasar yang kuat untuk prediksi masa depan. Analisis spasial mengungkapkan pola perubahan yang signifikan antara tahun 2022 dan 2030. Hutan mangrove primer diproyeksikan berkurang 10,29 % dari 184.754 ha menjadi 167.524 ha, sementara hutan mangrove sekunder meningkat 5,36 % dari 82.604 ha menjadi 87.032 ha. Perubahan ini mencerminkan dinamika kompleks dalam ekosistem mangrove, termasuk degradasi dan regenerasi. Dampak terhadap cadangan karbon sangat penting, dengan penurunan dari 33.893.239,48 Mg C pada tahun 2022 menjadi 31.686.894,93 Mg C pada tahun 2030, mengakibatkan kehilangan 2.206.344,54 Mg C atau sebesar 6,5 %. Temuan ini menekankan urgensi strategi konservasi yang efektif untuk mempertahankan integritas ekosistem dan fungsi penyerapan karbon. Hasil kajian ini memberikan wawasan berharga tentang keberlanjutan ekosistem mangrove Teluk Bintuni di tengah perubahan lingkungan yang sedang berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, Z., Yang, G., Zhong, Y., & Zhao, Y. (2021). Spatiotemporal Change Analysis and Future Scenario of LULC Using the CA-ANN Approach: A Case Study of the Greater Bay Area, China. *LAND*, 10, 584. doi : <https://doi.org/10.3390/land10060584>.
- Arebo, B., & Inayah. (2023, September 20). *MENINGKATKAN PARTISIPASI MASYARAKAT TELUK BINTUNI DALAM MENGELOLA PERIKANAN SECARA BERKELANJUTAN*. Retrieved Januari 9, 2025, from WWF: <http://www.wwf.id/id/blog/meningkatkan-partisipasi-masyarakat-teluk-bintuni-dalam-mengelola-perikanan-secara>
- Badan Pusat Statistik [BPS]. (2024). *Kabupaten Teluk Bintuni dalam angka* (Vol. 18). Teluk Bintuni: BPS Kabupaten Teluk Bintuni.
- Bufedo, B., & Elias, E. (2021). Land Use/Land Cover Change and Its Driving Forces in Shenkolla Watershed, South Central Ethiopia. *ScientificWorldJournal*, 9470918, doi : [10.1155/2021/9470918](https://doi.org/10.1155/2021/9470918).
- Bugday, E., & Bugday, S. E. (2019). Modeling and simulating land use/cover change using artificial neural network from remotely sensing data. *CERNE*, 25(2), 246-254. doi : [10.1590/01047760201925022634](https://doi.org/10.1590/01047760201925022634).
- Bukoski, J., Dronova, I., & Potts, M. (2022). Net loss statistics underestimate carbon emissions from mangrove land use and land cover change. *Ecography*, 2022 (4)(Restoration Special Issue), doi: [10.1111/ecog.05982](https://doi.org/10.1111/ecog.05982).
- Choudhary, B., Dhar, V., & Pawase, A. S. (2024). Blue carbon and the role of mangroves in carbon sequestration: Its mechanisms, estimation, human impacts and conservation strategies for economic incentives. *Journal of Sea Research*, 199, 102504. DOI: [10.1016/j.seares.2024.102504](https://doi.org/10.1016/j.seares.2024.102504).

- Dewiyanti, I., Khairina, K., & El-Rahimi, S. A. (2024). Carbon stock estimation of mangrove ecosystem in the Kuta Raja Subdistrict, Banda Aceh. *ICFAES 2023*, 87, p. 02008. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20248702008>. Aceh: BIO Web of Conferences.
- Ditjen PDASRH. (2021). *Peta Mangrove Nasional Tahun 2021*. Jakarta: Direktorat Konservasi Tanah dan Air, Ditjen PDASRH.
- Febianti, V., Sasmito, B., & Bashit, N. (2022). Pemodelan perubahan tutupan lahan berbasis penginderaan jauh (Studi kasus : Kota Semarang). *Jurnal Geodesi UNDIP*, 11(3), 1-10. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2022.36939>
- Gandhi, Y., Hardiono, M., Rahawarin, Y., Nugroho, J., & Manusawai, J. (2008). Interpretation of Mangrove Ecosystem Dynamic in Bintuni Bay Nature Reserve Using Geographic Information System. *Biodiversitas*, 9 (2), 156-159. DOI: [10.13057/biodiv/d090216](https://doi.org/10.13057/biodiv/d090216).
- Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Amani, M., Mohammadzadeh, A., & Jamali, S. (2022). Application of Artificial Neural Networks for Mangrove Mapping Using Multi-Temporal and Multi-Source Remote Sensing Imagery. *Water*, 14 (2), 244. <https://doi.org/10.3390/w14020244>.
- Hidayah, Z., Rachman, H., & As-Syakur, A. (2022). Mapping of Mangrove Forest and Carbon Stock Estimation of East Coast Surabaya, Indonesia. *Biodiversitas*, 23(9), 4826-4837. DOI : [10.13057/biodiv/d230951](https://doi.org/10.13057/biodiv/d230951).
- Hutchison, J., Spalding, M., & Ermgassen, P. (2014). *The role of mangroves in fisheries enhancement*. The Nature Conservancy and Wetland International.
- Idris, R., & Saleh, M. T. (2024). Remote Sensing and GIS-Based LULC Prediction in Shah Alam: A Strategy for Sustainable Urban Growth and Development. *Bioresources and Environment*, 2(3), 85-96. Retrieved from <https://bioenvuitm.com/index.php/en/article/view/71>
- Kasiliw, P., Bawole, R., Marwa, J., Murdjoko, A., Wihiyawari, A., Heipon, Y., et al. (2023). Floristic richness and diversity of Bintuni mangrove, Bird's Head Peninsula, West Papua, Indonesia. *BIODIVERSITAS*, 24. No 5, 2887-2897. doi : [10.13057/biodiv/d240543](https://doi.org/10.13057/biodiv/d240543).
- Kasiliw, P., Bawole, R., Marwa, J., Murdjoko, A., Wihiyawari, A., Heipon, Y., et al. (2024). Mangrove Distribution to Support Biodiversity Management in Teluk Bintuni District, West Papua, Indonesia. *Biodiversitas*, 25(2), 644-653. doi : [10.13057/biodiv/d250223](https://doi.org/10.13057/biodiv/d250223).
- Kim, Y., Newman, G., & Güneralp, B. (n.d.). A Review of Driving Factors, Scenarios, and Topics in Urban Land Change Models. *Land*, 9(8), 246. <https://doi.org/10.3390/land9080246>.
- Larekeng, S., Nursaputra, M., Mappiasse, M., Ishak, S., Basyuni, M., Sumarga, E., et al. (2024). Estimation of mangrove carbon stocks using unmanned aerial vehicle over coastal vegetation. *Global J. Environ. Sci. Manage*, 10 (3), 1133-1150. doi : [10.22034/gjesm.2024.03.13](https://doi.org/10.22034/gjesm.2024.03.13).
- 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, 419. DOI : <https://doi.org/10.3390/land11030419>.
- Murdiyarso, D., Sasmito, S., Sillanpää, M., MacKenzie, R., & Gaveau, D. (2021). Mangrove selective logging sustains biomass carbon recovery, soil carbon, and sediment. *Scientific Reports*, 11:12325, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91502-x>.
- Pham, T. D., Yokoya, N., Nguyen, T. T., Le, N. N., Ha, N. T., Xia, J., et al. (2020). Improvement of Mangrove Soil Carbon Stocks Estimation in North Vietnam Using Sentinel-2 Data and Machine Learning Approach. *GIScience & Remote Sensing*, 58(1), 68-87. <https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1857623>.
- Direktorat Pencegahan Perubahan Iklim [DIRJEN PPI]. (2022). *National reference level for deforestation, forest degradation, and enhancement of forest carbon stock*. Jakarta: DIRJEN PPI.
- Rahmawaty, R., Rauf, A., Harahap, M. M., & Kurniawan, H. (2022). Land cover change impact analysis: an integration of remote sensing, GIS and DPSIR framework to deal with degraded land in Lapan

- Watershed, North Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*, 23(6), 3000-3011. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230627>.
- Sasmito, S., Sillanpää, M., Hayes, M., Bachri, S., Saragi-Sasmito, M., Sidik, F., et al. (2020). Mangrove Blue Carbon Stocks and Dynamics are Controlled by Hydrogeomorphic Settings and Land-use Change. *Global Change Biology*, 26(5), 3028-3039. doi : [10.1111/gcb.15056](https://doi.org/10.1111/gcb.15056)
- Sasmito, S., Taillardat, P., Clendenning, J., Cameron, C., Friess, D., Murdiyarso, D., et al. (2019). Effect of land-use and land-cover change on mangrove blue carbon: A systematic review. *Global Change Biology*, 25 (12), 4291-4302. doi: [10.1111/gcb.14774](https://doi.org/10.1111/gcb.14774).
- Sim, J., & Wright, C. (2005). The Kappa Statistic in Reliability Studies: Use, Interpretation, and Sample Size Requirements. *Physical Therapy*, 85(3), 257–268 : <https://doi.org/10.1093/ptj/85.3.257>.
- Yudha, R. P. (2021). Forest Structure of 26 Year old Planted Mangroves. *Journal Sylva Lestari*, 04 (2), 61-69. DOI: <https://doi.org/10.32734/jsi.v4i02.5680>.
- Yudha, R. P., Solehudin, Wahyudi, & Sillanpää, M. (2022). The Dynamics of Secondary Mangrove Forests in Bintuni Bay, West Papua after Harvested on the First 30-Year Rotation Cycle. *Jurnal Sylva Lestari*, 10(1), 83-106. DOI : <https://doi.org/10.23960/jsl.v10i1.575>.
- Zhang, J., Yang, J., Liu, P., Liu, Y., Zheng, Y., Shen, X., et al. (2024). Effects of Land Use/Cover Change on Terrestrial Carbon Stocks in the Yellow River Basin of China from 2000 to 2030. *Remote Sensing*, 16(10), 1810. <https://doi.org/10.3390/rs16101810>.