

PREDIKSI PERUBAHAN KAWASAN HUTAN MANGROVE MENGUNAKAN *CELLULAR AUTOMATA-MARKOV CHAIN*

(Studi Kasus: Desa Simandulang, Kecamatan Kualuh Leidong,

Kabupaten Labuhanbatu Utara, Sumatera Utara)

Muhammad Rafly Fahrezi¹, Levana Apriani, S.T., M.T.²,

Danis Suhari Singawilastra, S.T., M.T.²

¹Mahasiswa Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

²Dosen Pembimbing Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

²Dosen Pembimbing Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

ABSTRACT

Mangrove forests are coastal ecosystems that play an important role in maintaining environmental balance, protecting coastlines, and storing high carbon reserves. However, mangrove areas are currently experiencing significant pressure due to land conversion, coastal development, and other human activities. This study aims to predict changes in mangrove forest areas in Simandulang Village in 2034. This study uses the Cellular Automata Markov Chain method in modeling land cover predictions with driving factors. The driving factor data used are coastline maps, river flow maps, settlement area maps, and pond area maps in Simandulang Village. The data used for satellite image classification is land cover data from the classification of 2020, 2022, and 2024 based on Sentinel-2 satellite imagery. The results of the study show that changes in land cover from 2020-2024 experienced a decrease in the area of mangrove land, in contrast to the land cover of oil palm plantations which increased. From the results of the prediction modeling of changes in mangrove forest areas in 2034, an area of 210.06 Ha was obtained. The prediction results show that if the current trend of change continues, the mangrove forest area will experience significant shrinkage within a certain period of time. This information is expected to be the basis for planning and policy making in efforts to conserve and manage sustainable mangrove forests.

Keywords: Mangrove forest, land cover, cellular automata, markov chain.

ABSTRAK

Hutan mangrove merupakan ekosistem pesisir yang memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan, melindungi garis pantai, serta menyimpan cadangan karbon yang tinggi. Namun, kawasan mangrove saat ini mengalami tekanan yang cukup besar akibat konversi lahan, pembangunan pesisir, dan aktivitas manusia lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi perubahan kawasan hutan mangrove di Desa Simandulang pada tahun 2034. Penelitian ini menggunakan metode *Cellular Automata Markov Chain* dalam memodelkan prediksi tutupan lahan dengan *driving factor*. Data *driving factor* yang digunakan berupa peta garis pantai, peta aliran sungai, peta areal pemukiman, dan peta areal tambak di Desa Simandulang. Data yang digunakan untuk klasifikasi citra satelit adalah data tutupan lahan hasil klasifikasi tahun 2020, 2022, dan 2024 berdasarkan citra satelit Sentinel-2. Dari hasil penelitian menunjukkan perubahan tutupan lahan dari tahun 2020-2024 mengalami penurunan luasan pada lahan mangrove

berbeda dengan tutupan lahan perkebunan kelapa sawit yang mengalami peningkatan. Dari hasil pemodelan prediksi perubahan kawasan hutan mangrove tahun 2034 didapatkan luasan sebesar 210,06 Ha. Hasil prediksi menunjukkan bahwa jika tren perubahan saat ini berlanjut, maka kawasan hutan mangrove akan mengalami penyusutan yang signifikan dalam kurun waktu tertentu. Informasi ini diharapkan dapat menjadi dasar perencanaan dan pengambilan kebijakan dalam upaya konservasi dan pengelolaan hutan mangrove yang berkelanjutan.

Keywords: Hutan mangrove, tutupan lahan, *cellular automata*, *markov chain*.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Mangrove merupakan ekosistem utama di wilayah pesisir, dengan tipologi vegetasi utamanya berupa hutan bakau (sebutan yang lazim digunakan untuk menyebut ekosistem hutan pada lahan pasang surut di pantai berlumpur). Umumnya ekosistem mangrove merupakan sumber daya alam (*natural resources*) yang memiliki intensitas relasi yang tinggi dengan masyarakat. Lokasi ekosistem mangrove mudah dijangkau dan berada pada kawasan-kawasan yang sudah cukup terbuka/berkembang. Selain itu, potensi ekonomi hutan mangrove cukup tinggi dan didukung oleh kemudahan pemanfaatan dan pemasaran hasilnya. Hubungan antar ekosistem dan antar sektor yang sangat kuat di wilayah pesisir mendorong laju kerusakan ekosistem mangrove (Putra, 2012).

Hutan mangrove Indonesia adalah yang terluas di dunia, mencakup sekitar 21-29% dari total ekosistem mangrove global, dengan 45 dari 75 spesies mangrove dunia (Spalding et al. 2010; Giri et al. 2011; Hamilton & Casey 2016). Meskipun demikian, menurut *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2007) menyebutkan menyebutkan Indonesia telah mengalami penurunan luasan hutan mangrove pada kurun waktu 1980-1990 dari total luas 4.2 juta ha menjadi 3.5 juta ha atau rata-rata 70 ribu ha per tahun. Pada tahun 2000 tersisa

3.15 juta ha atau terjadi pengurangan rata-rata 35 ribu ha per tahun. Sebagian besar kerusakan hutan mangrove Indonesia disebabkan oleh aktivitas manusia baik berupa konversi mangrove menjadi penggunaan lain seperti pemukiman, industri, dan rekreasi (IMI 2010). Demikian halnya hutan mangrove di kawasan Kabupaten Labuhanbatu Utara yang dimana mangrove mengalami penurunan lahan terbesar kearah perkebunan dan perkebunan karet dan sawit mengalami perluasan lahan yang besar (Regan, 2021). Desa Simandulang merupakan salah satu Desa di Kabupaten Labuhanbatu Utara yang termasuk daerah kawasan pantai berhutan bakau.

Melihat kondisi mangrove di Desa Simandulang saat ini, perlu dilakukan suatu kajian mengenai kondisi terkini dan perubahan mangrove di kawasan Desa Simandulang. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh. Mangrove dapat diidentifikasi dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh, dimana letak geografis mangrove yang berada pada daerah peralihan darat dan laut memberikan efek perekaman yang khas jika dibandingkan obyek vegetasi darat lainnya (Faizal dan Amran, 2005).

Analisis spasial yang memanfaatkan data citra penginderaan jauh dan diolah menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) dapat dimanfaatkan untuk memprediksi perubahan tutupan lahan. Kajian terhadap perubahan penggunaan lahan meliputi penghitungan

luas, tingkat, serta pola perubahan merupakan salah satu pendekatan untuk memahami dinamika penggunaan lahan secara spasial. Dalam penelitian ini, digunakan pendekatan *Cellular Automata Markov Chain* (CA-Markov) untuk melakukan prediksi perubahan kawasan hutan mangrove. Keunggulan dari metode CA-Markov terletak pada kemampuannya untuk menganalisis pola perubahan, mulai dari yang sederhana hingga yang kompleks, dengan prinsip kerja yang relatif mudah dipahami. Model CA-Markov banyak diterapkan dalam studi-studi kebumihutan, termasuk dalam analisis perubahan kawasan hutan mangrove. Dalam pendekatan ini, perubahan kawasan hutan mangrove dideteksi berdasarkan probabilitas terjadinya peralihan dari satu jenis lahan ke jenis lainnya, dengan mempertimbangkan potensi transisi antar kelas lahan.

Berdasarkan pengamatan latar belakang di atas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai perubahan penggunaan lahan mangrove di Desa Simandulang pada tahun 2020, 2022, dan 2024 serta gambaran spasial perkembangan penggunaan tutupan lahan selama sepuluh (10) tahun ke depan agar dapat memprediksi serta menilai dampak negatif dari perubahan luasan kawasan hutan mangrove secara dini.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan untuk penelitian ini adalah metode kuantitatif. penelitian kuantitatif adalah metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat positivisme untuk meneliti populasi atau sampel tertentu, dan pengambilan sampel dilakukan secara random dengan pengumpulan data menggunakan instrumen, serta analisis data bersifat statistik. Penelitian ini menggunakan studi kasus untuk

menganalisis perbedaan tutupan lahan pada tahun 2020, 2022, dan 2024 serta melakukan prediksi tutupan lahan pada tahun 2034. Pada penelitian ini digunakan beberapa tahapan metode dalam pengolahan data untuk menghasilkan informasi. Tahapan tersebut antara lain metode pengumpulan data, metode pengolahan data, dan metode analisis yang selanjutnya akan dijelaskan sebagai berikut.

Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian ini dilakukan di Desa Simandulang, Kecamatan Kualuh Leidong, Kabupaten Labuhanbatu Utara, Sumatera Utara. Secara Astronomis, terletak antara $2,4521^{\circ}$ Lintang Utara dan $99,5627^{\circ}$ Bujur Timur. Berdasarkan posisi geografisnya, Desa Simandulang memiliki batas-batas:

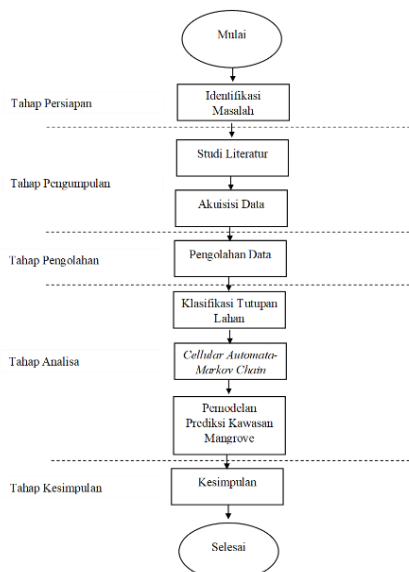
- Bagian utara: Kabupaten Asahan dan Selat Malaka;
- Bagian selatan: Desa Pangkalan Lunang dan Desa Tanjung Leidong;
- Bagian barat: Kabupaten Asahan;
- Bagian timur: Kecamatan Kualuh Hilir.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Kerangka Penelitian

Adanya Pemanfaatan sistem informasi geospasial untuk klasifikasi tutupan lahan semakin berkembang, salah satunya melalui metode *Cellular Automata-Markov Chain* (CA-Markov). Model CA-Markov mampu memproses pola perubahan tutupan lahan dari yang sederhana hingga yang kompleks dengan prinsip kerja yang relatif mudah. Dalam kajian ini, metode CA-Markov diterapkan untuk memprediksi tutupan lahan dengan memperhitungkan probabilitas transisi antar kategori tutupan lahan. Hasil prediksi tersebut diharapkan menjadi basis data bagi pemerintah daerah dalam merumuskan perencanaan, pengembangan, pengawasan, serta pengelolaan kawasan hutan mangrove di masa mendatang. Diagram kerangka pemikiran penelitian ini ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kerangka Penelitian

Tahap Pengolahan Data

Dalam pengolahan citra untuk klasifikasi tutupan lahan dengan menggunakan perangkat lunak *open source* yaitu *Google Earth Engine*, terdapat serangkaian tahapan proses yang

dilakukan. Proses tersebut mencakup pembuatan data *driving factor* sebagai pemodelan tutupan lahan, hingga pengolahan citra satelit Sentinel-2 menjadi peta tutupan lahan:

1. Pengolahan data *driving factor*

Data *driving factor* merupakan variabel-variabel yang memengaruhi perubahan tutupan lahan yang terdiri dari jarak dari garis pantai, jarak dari sungai, jarak dari areal pemukiman, dan jarak dari areal tambak. Data tersebut selanjutnya diproses menggunakan metode *Euclidean Distance* untuk menghasilkan peta *driving factor* perubahan tutupan lahan. Hasil pemrosesan tersebut kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui tingkat hubungan antara setiap faktor terhadap perubahan tutupan lahan yang terjadi.

2. Klasifikasi terbimbing

Proses klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dalam analisis citra satelit bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengelompokkan objek berdasarkan nilai spektral yang terekam pada setiap piksel citra. Pada citra Sentinel-2 tahun 2020, 2022, dan 2024, dilakukan komposit kanal (RGB 8-11-4) guna menghasilkan tampilan false color yang memperjelas area mangrove dalam citra. Tahap berikutnya adalah pembuatan area atau titik sampel, yang mewakili kelas-kelas tutupan lahan berdasarkan kemiripan tampilan dan karakteristik objek di lapangan.

3. Pemodelan prediksi tutupan lahan

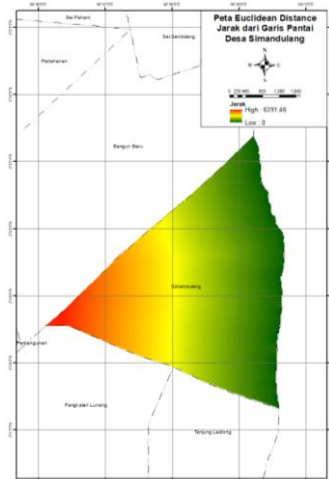
Dalam penelitian ini, metode pemodelan *Cellular Automata-Markov* (CA-Markov) diterapkan untuk memproyeksikan perubahan tutupan lahan di masa mendatang. Pendekatan *Cellular Automata* (CA) digunakan sebagai dasar simulasi spasial, yang memungkinkan representasi dinamika perubahan tutupan lahan berdasarkan struktur sel dan kedekatan spasial. Model ini memerlukan masukan berupa matriks transisi, yang merepresentasikan

probabilitas terjadinya perubahan antar kelas tutupan lahan dari satu periode waktu ke periode lainnya. Matriks transisi tersebut dihasilkan melalui analisis *Markov Chain*, dengan membandingkan data tutupan lahan pada dua titik waktu, yaitu tahun 2020 dan tahun 2022.

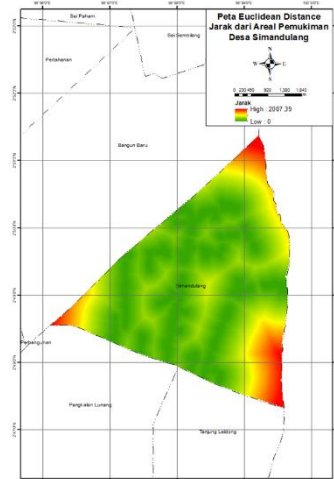
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengolahan *Driving Factor*

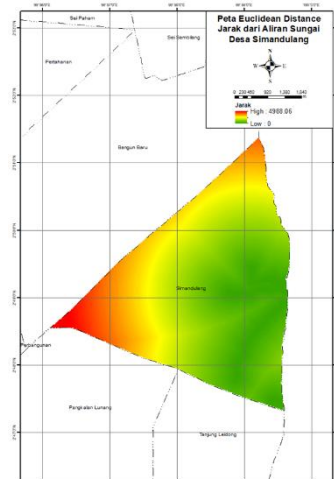
Dalam penelitian ini, faktor pendorong mencakup sejumlah variabel spasial yang berpotensi memengaruhi pola perubahan tutupan lahan pada lokasi tertentu. Setiap variabel atau faktor tersebut memiliki tingkat pengaruh yang berbeda-beda terhadap jenis perubahan tutupan lahan yang terjadi. Perangkat lunak SIG digunakan untuk mengolah data faktor pendorong dengan menggunakan metode *Euclidean Distance* untuk jarak dari garis pantai, jarak dari sungai, jarak dari areal pemukiman, dan jarak dari areal tambak.



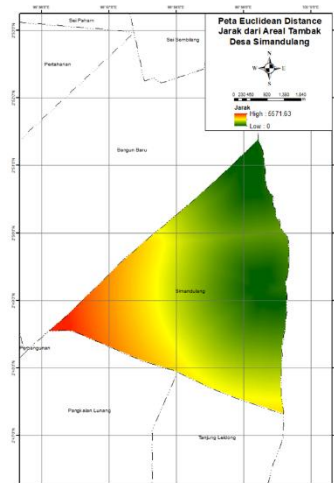
Gambar 3. Hasil Pengolahan *Euclidean Distance* Garis Pantai



Gambar 4. Hasil Pengolahan *Euclidean Distance* Areal Pemukiman



Gambar 5. Hasil Pengolahan *Euclidean Distance* Aliran Sungai



Gambar 6. Hasil Pengolahan *Euclidean Distance* Areal Tambak

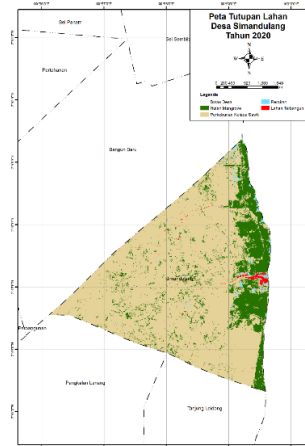
Setiap faktor pendorong perubahan tutupan lahan harus dikonfirmasi dengan perubahan tutupan lahan yang terjadi, oleh karena itu dari hasil pengolahan *Euclidean Distance* untuk setiap faktor pendorong perubahan tutupan lahan kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui tingkat hubungan antara setiap faktor terhadap perubahan tutupan lahan yang terjadi. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan uji Cramer's V. Cramer's V adalah ukuran asosiasi kuantitatif yang berkisar dari 0,0 (menunjukkan tidak ada korelasi), hingga 1,0 (menunjukkan korelasi sempurna). Menurut Eastman (2016), hasil uji Cramer's V dengan nilai 0,15 atau lebih tinggi pada pengujian faktor pendorong tutupan lahan dapat digunakan sebagai acuan bahwa faktor tersebut memiliki pengaruh pada perubahan tutupan lahan dan dapat dimasukkan ke dalam model prediksi perubahan tutupan lahan.

Berdasarkan hasil uji Cramer's V pada semua faktor perubahan tutupan lahan didapatkan semua faktor perubahan tutupan lahan nilai *overall V* keseluruhan diatas 0,15. Ini menunjukkan bahwa setiap faktor memiliki pengaruh pada perubahan tutupan lahan dan dapat dimasukkan ke dalam model prediksi perubahan tutupan lahan. Adapun nilai *overall V* paling tinggi terdapat pada faktor garis pantai, hal ini dikarenakan garis pantai merupakan zona transisi yang sangat dinamis antara daratan dan laut, yang secara alami mengalami proses sedimentasi, erosi, pasang surut, serta dipengaruhi pula oleh aktivitas manusia.

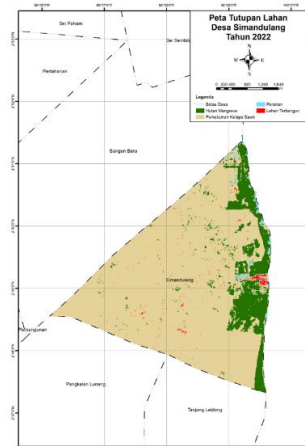
B. Hasil Klasifikasi Citra Satelit

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak *Google Earth Engine* untuk melakukan klasifikasi dengan metode *random forest*. Area pelatihan ditentukan melalui interpretasi visual citra satelit Sentinel-2 pada tahun 2020, 2022, dan 2024. Jumlah area pelatihan

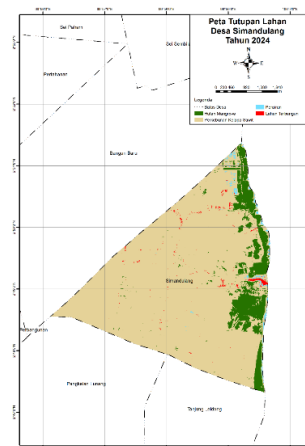
untuk setiap kelas tutupan lahan disesuaikan berdasarkan tahun pengambilan citra.



Gambar 7. Hasil Pengolahan Klasifikasi Tutupan Lahan 2020



Gambar 8. Hasil Pengolahan Klasifikasi Tutupan Lahan 2022



Gambar 9. Hasil Pengolahan Klasifikasi Tutupan Lahan 2024

Luas tutupan lahan hutan mangrove mengalami penurunan dari tahun ke tahun. Dari tahun 2020 hingga 2022, terjadi penurunan pada hutan mangrove sebesar 90,68 Ha atau 21,85%, kemudian penurunan lagi sebesar 53,5 Ha atau 16,5% pada tahun 2024, sehingga total luas hutan mangrove pada tahun 2024 adalah 270,83 Ha. Tabel 1 menunjukkan perbandingan luas tutupan lahan setiap periode.

Tabel 1. Perbandingan Luas Tutupan Lahan Tahun 2020-2024

Tutupan Lahan	Luas (Ha)		
	2020	2022	2024
Hutan Mangrove	415,01	324,33	270,83
Perkebunan Kelapa Sawit	2018,86	2108,50	2162,35
Perairan Lahan	20,79	21,39	19,45
Terbangun	12,46	12,91	14,49
Total	2467,12	2467,12	2467,12

Sumber: Hasil pengolahan data klasifikasi tutupan lahan di Desa Simandulang

Pada tabel dapat juga dilihat tutupan lahan perkebunan kelapa sawit mengalami peningkatan luas pada periode tahun 2020-2022, dengan peningkatan luas hingga 89,63 Ha atau 4,44%. Pada periode tahun 2022-2024 mengalami peningkatan sebesar 53,85 Ha atau 2,55%. Untuk tutupan lahan perairan mengalami peningkatan luas pada periode tahun 2020-2022, dengan peningkatan luas hingga 0,60 Ha atau 2,88%. Pada periode tahun 2022-2024 mengalami penurunan sebesar 1,93 Ha atau 9,04%, perubahan tutupan lahan perairan bisa saja disebabkan oleh pasang surut air laut yang mempengaruhi hasil dari klasifikasi tutupan lahan. Untuk tutupan lahan lahan terbangun mengalami peningkatan luas pada periode tahun 2020-2022, dengan peningkatan luas hingga 0,45 Ha atau

3,6%. Pada periode tahun 2022-2024 mengalami peningkatan sebesar 1,58 Ha atau 12,28%.

C. Pemodelan Tutupan Lahan 2024

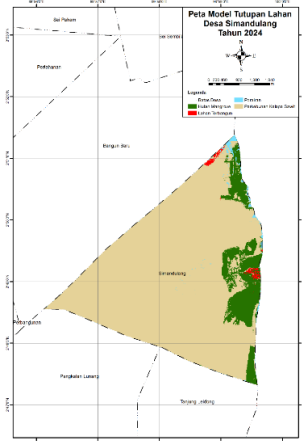
Hasil dari metode *markov chain* pada periode tahun 2020-2022 adalah peluang kelas hutan mangrove, menjadi lahan perkebunan kelapa sawit, perairan, dan lahan terbangun. Peluang kelas hutan mangrove untuk berubah menjadi perkebunan kelapa sawit adalah 0,3946, peluang kelas hutan mangrove untuk berubah menjadi perairan adalah 0,0045, dan peluang kelas hutan mangrove berubah menjadi lahan terbangun adalah 0,0006.

Tabel 2. Matriks Probabilitas Pemodelan Tahun 2024

Tutupan Lahan	Hutan Mangrove	Perkebunan Kelapa Sawit	Perairan	Lahan Terbangun
Hutan Mangrove	0.6002	0.3946	0.0045	0.0006
Perkebunan Kelapa Sawit	0.0370	0.9567	0.0035	0.0029
Perairan	0.0302	0.3907	0.5264	0.0527
Lahan Terbangun	0.0000	0.4192	0.1232	0.4576

Sumber: Hasil pengolahan data pemodelan tutupan lahan tahun 2024

Dalam matriks probabilitas, baris menunjukkan sumber tutupan lahan dan kolom menunjukkan tujuan perubahan tutupan lahan. Tabel 2 menunjukkan nilai TPM simulasi tahun 2024, di mana nilai yang mendekati angka 1 menunjukkan bahwa ada kemungkinan lebih besar bahwa tutupan lahan akan berubah, sedangkan nilai yang paling rendah atau mendekati 0 menunjukkan bahwa tidak akan ada perubahan tutupan lahan.



Gambar 10. Hasil Pemodelan Tutupan Lahan 2024

Luasan prediksi yang memiliki nilai lebih besar dari kondisi aktual ditemukan di kelas hutan mangrove, dan perairan. Untuk hutan mangrove terjadi perbedaan antara prediksi dan aktual sebesar 2,53 Ha atau 0,93% dari kondisi data aktual. Untuk perairan terjadi perbedaan antara prediksi dan aktual sebesar 2,23 Ha atau 11,48% dari kondisi data aktual.

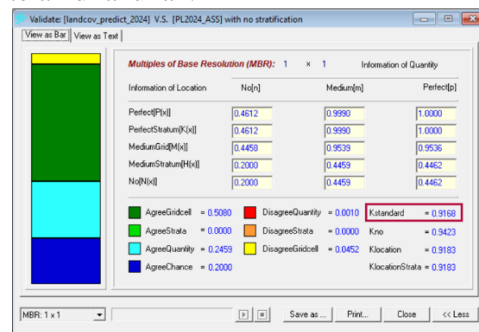
Luasan prediksi yang memiliki nilai lebih kecil dari kondisi aktual ditemukan di kelas perkebunan kelapa sawit, dan lahan terbangun. Untuk perkebunan kelapa sawit terjadi perbedaan antara prediksi dan aktual sebesar 3,62 Ha atau 0,17% dari kondisi data aktual. Untuk lahan terbangun terdapat perbedaan antara prediksi dan aktual sebesar 1,15 Ha atau 7,91% dari kondisi data aktual.

Tabel 3. Perbandingan Luas Aktual dengan Prediksi Tutupan Lahan Tahun 2024

Tutupan Lahan	Luas (Ha) Tahun 2024	
	Aktual	Prediksi
Hutan Mangrove	270,83	273.36
Perkebunan Kelapa Sawit	2162,35	2158.73
Perairan	19,45	21.69
Lahan Terbangun	14,49	13.34
Total	2467.12	2467.12

Sumber: Hasil pengolahan data pemodelan tutupan lahan tahun 2024

Luasan yang tidak sesuai antara model tutupan lahan dan data hasil klasifikasi menunjukkan perbedaan sebesar 9,53 ha, atau 0,39% dari data hasil klasifikasi. Luasan yang sesuai antara model dengan data hasil klasifikasi mencapai nilai 99,61%. Langkah selanjutnya adalah melakukan proses validasi dengan tujuan untuk melihat tingkat akurasi model prediksi tutupan lahan. Proses validasi dilakukan dengan uji *kappa* di mana peta perubahan tutupan lahan tahun 2024 hasil klasifikasi citra digunakan sebagai data pembanding dan hasil model prediksi tutupan lahan tahun 2024 sebagai data dasarnya. Validasi ini bertujuan untuk melihat apakah model prediksi perubahan tutupan lahan yang telah dibuat dapat digunakan untuk memprediksi tutupan lahan pada periode yang lebih panjang lagi. Gambar 11 di bawah memperlihatkan hasil uji *kappa* yang telah dilakukan.



Gambar 11. Uji *Kappa* Model Tutupan Lahan Tahun 2024

Gambar 11 menunjukkan hasil uji akurasi tutupan lahan hasil klasifikasi dengan tutupan lahan hasil model prediksi yang menghasilkan nilai *kappa* sebesar 0,9168 atau 91,68%. Hasil uji *kappa* tersebut sudah memperlihatkan tingkat akurasi yang sangat baik karena menurut Ghost, et al., (2017) hasil uji *kappa* >75% merupakan hasil yang sangat baik dan konsep pemodelan yang digunakan dapat dilanjutkan untuk model tutupan lahan tahun 2034.

D. Pemodelan Tutupan Lahan 2034

Pemodelan kedua dilakukan untuk memproyeksikan tutupan lahan pada tahun 2034, dengan tetap menggunakan *driving factors* yang sama seperti pada pemodelan tahun 2024. Meskipun menggunakan variabel yang serupa, pemodelan ini akan menghasilkan nilai *Transition Probability Matrix* (TPM), yang berbeda, seiring dengan perubahan dinamika spasial dan temporal yang dipertimbangkan dalam proyeksi jangka panjang. Berikut merupakan Tabel 4 yang berisi *transition probability matrix* yang dihasilkan untuk pemodelan tahun 2034.

Tabel 4. Matriks Probabilitas Pemodelan Tahun 2034

Tutupan Lahan	Hutan Mangrove	Perkebunan Kelapa Sawit	Perairan	Lahan Terbangun
Hutan Mangrove	0.1134	0.8728	0.0086	0.0052
Perkebunan Kelapa Sawit	0.0814	0.9044	0.0086	0.0057
Perairan	0.0774	0.8730	0.0348	0.0149
Lahan Terbangun	0.0721	0.8779	0.0306	0.0194

Sumber: Hasil pengolahan data pemodelan tutupan lahan tahun 2034

Berdasarkan pada Tabel 4, nilai TPM daerah hutan mangrove untuk berubah menjadi tutupan lahan perkebunan kelapa sawit sebesar 0,8728. Sementara nilai yang mendekati 0 menunjukkan bahwa kecil kemungkinan terjadi perubahan tutupan lahan dari tutupan lahan satu ke tutupan lahan lainnya. Pada Gambar 12 merupakan pemodelan prediksi tutupan lahan di Desa Simandulang pada tahun 2034.



Gambar 12. Hasil Pemodelan Tutupan Lahan 2034

Menurut hasil pengolahan model tutupan lahan Desa Simandulang tahun 2034 menggunakan *Cellular Automata Markov Chain*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12 didapatkan luasan tutupan lahan hutan mangrove sebesar 210,06 Ha, perkebunan kelapa sawit didapatkan luasan sebesar 2219,79 Ha, perairan didapatkan luasan sebesar 22,06 Ha, dan lahan terbangun didapatkan luasan sebesar 15,2 Ha. Pada Tabel 5 merupakan luas wilayah keseluruhan tutupan lahan.

Tabel 5. Perubahan Luas Tutupan Lahan 2020, 2022, 2024, dan 2034

Tutupan Lahan	Luas (Ha)			
	2020	2022	2024	2034
Hutan Mangrove	415,01	324,33	270,83	210,06
Perkebunan Kelapa Sawit	2018,86	2108,50	2162,35	2219,79
Perairan	20,79	21,39	19,45	22,06
Lahan Terbangun	12,46	12,91	14,49	15,2
Total	2467,12	2467,12	2467,12	2467,12

Sumber: Hasil pengolahan data klasifikasi dan pemodelan tutupan lahan di Desa Simandulang

Pada Tabel 5, data menunjukkan perubahan luas tutupan lahan di Desa Simandulang pada tahun 2020, 2022, 2024, dan prediksi tahun 2034. Pada setiap periodenya, luasan tutupan lahan kawasan hutan mangrove selalu

mengalami penurunan. Luasan tutupan lahan hutan mangrove pada periode tahun 2020 adalah 415,01 Ha, lalu mengalami penurunan pada periode tahun 2022 menjadi 324,33 Ha, pada tahun 2024 mengalami penurunan menjadi 270,83 Ha, dan juga terjadi penurunan pada model prediksi perubahan tutupan lahan hutan mangrove tahun 2034 menjadi 210,06 Ha. Sedangkan untuk tutupan lahan perkebunan kelapa sawit mengalami kenaikan yang signifikan pada setiap periodenya. Luasan tutupan lahan perkebunan kelapa sawit pada periode tahun 2020 adalah 218,86 Ha, lalu mengalami kenaikan pada periode tahun 2022 menjadi 2108,5 Ha, pada tahun 2024 mengalami kenaikan menjadi 2162,35 Ha, dan juga terjadi peningkatan pada model prediksi perubahan tutupan lahan perkebunan kelapa sawit tahun 2034 menjadi 2219,79 Ha.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan Perubahan tutupan lahan di Desa Simandulang menunjukkan tren penurunan luasan dari tahun 2020 hingga 2024. Penurunan terjadi pada kelas tutupan lahan hutan mangrove sebesar 144,18 Ha atau 34,74%, dan perairan sebesar 1,34 Ha atau 6,42%. Semua tutupan lahan tersebut mengalami penurunan karena alih fungsi lahan untuk memenuhi kebutuhan akan lahan perkebunan kelapa sawit dan lahan terbangun. Peningkatan luasan terjadi pada kelas perkebunan kelapa sawit yaitu sebesar 143,48 Ha atau 7,11%, dan lahan terbangun sebesar 2,03 Ha atau 16,32%.

Menurut model prediksi *Cellular Automata-Markov Chain* tahun 2034, terdapat 210,06 Ha jenis tutupan lahan hutan mangrove jika dibandingkan dengan kondisi tahun 2020 yang mencatat luas hutan mangrove sebesar 415,01 Ha, dari pemodelan menunjukkan bahwa pada tahun 2034 luas hutan

mangrove diperkirakan menurun drastis sebesar 204,94 Ha atau 49,38% dari tahun 2020 menunjukkan adanya tekanan yang cukup besar terhadap ekosistem mangrove. Penurunan ini didominasi oleh alih fungsi lahan menjadi perkebunan kelapa sawit, yang mengalami peningkatan luasan sebesar 200,93 Ha atau 9,95% dalam kurun waktu yang sama. Selain itu, terdapat juga peningkatan pada area perairan sebesar 1,28 Ha (6,14%) dan penambahan lahan terbangun sebesar 2,74 Ha (22,00%), yang turut memberikan kontribusi terhadap degradasi hutan mangrove.

SARAN

Dari hasil penelitian ini, dapat disampaikan beberapa hal yang disarankan untuk perbaikan penelitian selanjutnya. Mengkombinasikan digitasi on screen dengan klasifikasi untuk mendapatkan hasil klasifikasi yang lebih baik, menambahkan *driving factor* jarak dari perkebunan kelapa sawit untuk mendapatkan pemodelan yang akurat, dan memasukkan data kebijakan zonasi pesisir dan konservasi dari instansi pemerintah terkait untuk mengetahui pengaruh kebijakan terhadap dinamika perubahan mangrove.

DAFTAR PUSTAKA

- Aspinall R. (2004). Modelling land use change with generalized linear models-a multi-model analysis of change between 1860 and 2000 in Gallatin Valley, Montana. *Journal of Environmental Management*, 72:91-103.
- Awalludin Ramdhan, O. N. (2025). Pemodelan perubahan tutupan lahan berbasis Artificial Neural Network (ANN) pada mangrove di Kabupaten Teluk Bintuni.

- Agricola: Jurnal Pertanian , 11-20.
- Arifanti, V. B., Malik, A., Novita, N., Ilham, M., Amin, M. I., Suryadi, S., Subarno, & Tosiani, A. (2021). Strategi Optimalisasi Potensi Mitigasi Ekosistem Mangrove Indonesia Dalam Pencapaian Target Emisi. Pusat Standardisasi Ketahanan Bencana dan Perubahan Iklim. BSILHK-KLHK. ISSN: 2085-787 X Volume 15, No. 8.
- Achmadi, P. N. (2023). Model Perubahan Tutupan Lahan Berbasis Ca-Markov: Studi Kasus Kecamatan Ternate Utara, Kota Ternate. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 451-460.
- Badan Standarisasi Nasional, B. (2010). SNI 7645-2010 tentang klasifikasi penutup lahan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Fadhli, M., Rifardi, & Tarumun, S. (2019). Pemodelan Perubahan Penggunaan Lahan Di Kabupaten Kampar. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 13(2).
- Faizal, A., dan M.A. Amran. (2005). Model transformasi indeks vegetasi yang efektif untuk prediksi kerapatan mangrove *Rhizophora macronata*. Masyarakat Ahli Penginderaan Jauh (MAPIN), 34-40.
- Fitriyanto, Rachmat , B., & Helmi, M. (2018). Model Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan dengan Pendekatan Sistem Informasi Geografis dan Cellular Automata Markov Chain: Studi Kasus Kabupaten Rokan Hulu, Provinsi Riau. *Jurnal Teknologi Technoscintia*, 137-147.
- Indonesia Maritime Institute. (2010). Ekosistem Mangrove: Merintih Tergerus Keserakahan. Indonesia Maritime Institute.
- Kustanti, A. (2011). Manajemen Hutan Mangrove. IPB Press, Bogor, 246 hal.
- Liu, Y. (2009). Modelling Urban Development with Geographical Information Systems and Cellular Automata. s.1: CRC Press (Taylor & Francis Group).
- Nadhi Sugandhi. (2022). Prediksi Perubahan Tutupan Lahan di Kecamatan Sirimau, Kota Ambon Menggunakan Celular Automata-Markov Chain. *Jurnal Pendidikan Geografi*.
- Putra, S. H. (2012). Pemetaan Perubahan Tutupan Lahan di Pesisir Kota Medan dan Kabupaten Deli Serdang. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Regan Leonardus Kaswanto. (2021). Analisis Faktor Pendorong Perubahan Tutupan Lahan selama Satu Dekade di Kabupaten Labuhanbatu Utara. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 107-116.
- Soni Darmawan, A. C. (2022). Prediksi Perubahan Kawasan Hutan Mangrove Menggunakan Model Cellular Automata Markov pada Citra Penginderaan Jauh Landsat (Studi Kasus: Kawasan Resort Bama, Taman Nasional Baluran, Kabupaten Situbondo, Jawa Timur). *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 57-72.
- Supriatna S, J. S. (2016). Spatial dynamics model for sustainability landscape in Cimandiri Estuary, West Java, Indonesia. *Procedia - Social and Behavioral Science*, 19-30.