

MODEL PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN BERBASIS CA-MARKOV: STUDI KASUS KECAMATAN TERNATE UTARA, KOTA TERNATE

Models of Land Cover Change Based on CA-Markov: A Case Study of Ternate Utara Sub-district, Ternate City

Panji Nurul Achmadi*, Muhammad Dimiyati, Masita Dwi Mandini Manesa,
Heinrich Rakuasa*

Departemen Geografi, Departemen Geografi, FMIPA, Universitas Indonesia, Depok 16424

*Penulis korespondensi: panji.nurul@ui.ac.id; heinrich.rakuasa@ui.ac.id

Abstrak

Kecamatan Ternate Utara yang berada di pusat Kota Ternate membuat kecamatan ini merupakan kecamatan yang memiliki jumlah penduduk yang mengalami peningkatan setiap tahunnya. Peningkatan jumlah penduduk tentunya berpengaruh pada peningkatan lahan terbangun yang tentunya berpengaruh pada kerusakan lingkungan, perubahan iklim dan masalah-masalah sosial ekonomi lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi perubahan tutupan lahan di Kecamatan Ternate Utara pada tahun 2003, 2013, 2023 dan 2032 berbasis CA-Markov. Penelitian ini menggunakan metode CA-Markov untuk memprediksi tutupan lahan tahun 2023. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tahun 2003, 2013, 2023 dan 2032 lahan terbangun setiap tahunnya mengalami penambahan luasan, hal ini tentunya dipengaruhi oleh penambahan jumlah penduduk dan kebutuhan lahan untuk bermukim semakin tinggi setiap tahunnya. Lahan pertanian, lahan bukan pertanian dan lahan terbuka terus mengalami penurunan luasan akibat dari konversi jenis tutupan lahan ini ke lahan terbangun. Hasil prediksi ini sangat bermanfaat bagi pemerintah dalam pengambilan kebijakan terkait penataan ruang yang berkelanjutan kedepannya.

Kata kunci: *CA Markov, Ternate Utara, tutupan lahan*

Abstract

North Ternate Sub-district is located in the center of Ternate City, making it a sub-district that has an increasing population every year. The increase in population certainly affects the increase in built-up land, which certainly affects environmental damage, climate change and other socio-economic problems. This study aims to predict land cover change in North Ternate Sub-district in 2003, 2013, 2023 and 2032 based on CA-Markov. This research used CA-Markov method to predict land cover in 2023. The results showed that in 2003, 2013, 2023 and 2032, built-up land annually experienced an increase in area, this is certainly influenced by the increase in population, and the need for land for settlement is getting higher every year. Agricultural land, non-agricultural land and open land continue to decrease in the area due to the conversion of these types of land cover to built-up land. The results of this prediction are very useful for the government in making policies related to sustainable spatial planning in the future.

Keywords: *CA-Markov, land cover, Ternate Utara*

Pendahuluan

Secara geografis lokasi Kecamatan Ternate Utara yang berada di pusat Kota Ternate dan juga merupakan Bagian Wilayah Kota (BWK) II yang membuat kecamatan ini merupakan kecamatan

terpadat dan menjadi tujuan dari dari urbanisasi di Provinsi Maluku Utara. Berdasarkan data dari BPS pada tahun 2013 dan 2023 jumlah penduduk di Kecamatan Ternate Utara yaitu 46.673 jiwa, dan bertambah ditahun 2023 menjadi 52.056 jiwa. Pertambahan jumlah penduduk di Kecamatan

Ternate Utara tentunya berdampak pada kebutuhan dan ketersediaan lahan disana. Menurut Pertuack *et al.* (2023), peningkatan jumlah penduduk cenderung berdampak pada penambahan luasan lahan terbangun. Hal ini karena semakin banyak penduduk yang tinggal di suatu wilayah, semakin besar pula kebutuhan akan lahan untuk hunian, tempat usaha, dan infrastruktur umum (Rakuasa dan Pakniy, 2022). Dalam jangka panjang, peningkatan jumlah penduduk yang tidak diimbangi dengan pengaturan pembangunan yang baik dapat menyebabkan penambahan lahan terbangun yang tidak terkendali (Salakory dan Rakuasa, 2022). Hal ini dapat mengakibatkan berkurangnya lahan yang tersedia untuk pertanian, hutan, dan sumber daya alam lainnya (Somae *et al.*, 2023).

Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan Sarihi *et al.* (2020), lahan terbangun di Pulau Ternate, khususnya di Kecamatan Ternate Utara terus mengalami penambahan luasan akibat penambahan jumlah penduduk, dimana semakin meningkatnya jumlah penduduk di Kecamatan Ternate Utara yang tentunya berpengaruh pada perubahan tutupan lahan disana dimana lahan terbangun akan mengalami penambahan luasan sedangkan lahan pertanian dan hutan akan mengalami penurunan luasan. Tutupan lahan merupakan kondisi fisik permukaan tanah pada suatu wilayah tertentu yang mencakup jenis penggunaan lahan, seperti lahan pertanian, hutan, kota, padang rumput, sungai, dan lain sebagainya. Tutupan lahan dapat diukur dalam bentuk persentase luas dari area yang ditutupi oleh setiap jenis penggunaan lahan. Secara sederhana, Munthali *et al.* (2020) mendefinisikan tutupan lahan sebagai kondisi fisik permukaan bumi yang dihasilkan dari interaksi antara manusia dan lingkungannya. Perubahan tutupan lahan adalah perubahan dalam jenis penggunaan lahan atau kondisi fisik permukaan tanah pada suatu wilayah tertentu. Perubahan ini bisa terjadi karena berbagai faktor seperti aktivitas manusia seperti penebangan hutan, perluasan kota, pertanian, dan pertambangan, serta perubahan alamiah seperti perubahan iklim, kebakaran hutan, dan gempa bumi

Kondisi geografis Kecamatan Ternate Utara yang berada di daerah gunung api aktif yaitu Gunung Gamalama berdampak pada ketersediaan lahan untuk permukiman kedepannya, oleh karena ini prediksi perubahan tutupan lahan perlu dilakukan yang nantinya informasi tersebut dapat dijadikan sebagai dasar dan pijakan dalam pengambilan kebijakan terkait penataan dan pemanfaatan ruang *sustainable* dan sebagai langkah

awal dalam upaya mitigasi bencana alam kedepannya. Prediksi perubahan tutupan lahan di Kecamatan Ternate Utara sangat penting sebagai upaya dalam (1) Konservasi Lingkungan, dimana dengan memprediksi perubahan tutupan lahan, kita dapat memantau pola perubahan lahan dan mengambil tindakan untuk melindungi wilayah hutan dan lahan pertanian dari kerusakan dan perubahan yang merugikan, (2) Pengelolaan Sumber Daya, dengan memprediksi perubahan tutupan lahan, kita dapat merencanakan pengelolaan sumber daya yang lebih baik dan memastikan keberlanjutan penggunaannya, (3) Pembangunan Wilayah, dengan memprediksi perubahan tutupan lahan, kita dapat merencanakan penggunaan lahan yang lebih efektif dan berkelanjutan serta meminimalkan dampak negatif terhadap masyarakat, dan (4) Investasi: Perubahan tutupan lahan dapat mempengaruhi nilai properti dan investasi. Dengan memprediksi perubahan tutupan lahan, kita dapat membantu mengambil keputusan investasi yang tepat dan berkelanjutan.

Menurut Ajeeb *et al.* (2020) ada banyak model dan metode SIG dan penginderaan jauh untuk memprediksi pola pertumbuhan perkotaan seperti deteksi perubahan penggunaan lahan dan matriks lanskap diantaranya yaitu model Cellular Automata (CA), Land Transformation Model (LTM), dan Logistics Regression (LR). Pemanfaatan Sistem Informasi Geografi (SIG) dan data penginderaan jauh dapat digunakan untuk mengembangkan sistem perencanaan kota yang berkelanjutan kedepannya (Mohamed *et al.*, 2020). Prediksi perubahan tutupan lahan dengan menggunakan CA-Markov atau Cellular Automata-Markov Chain telah menjadi salah satu model dinamis utama yang digunakan oleh sebagian besar peneliti dalam beberapa tahun terakhir di bidang geografi, ilmu lingkungan dan perencanaan wilayah dan kota (Getu dan Bhat, 2022; Xu *et al.*, 2022).

Menurut Kushwaha *et al.* (2021) Model CA-Markov merupakan model yang umum digunakan dalam lima tahun terakhir karena kesederhanaannya dan dapat dengan mudah diintegrasikan dengan model lain. Xu *et al.* (2022) menambahkan bahwa model CA-Markov sangat memberikan kemudahan penggunaan dan kesederhanaan implementasi, serta perluasannya dan kemampuan untuk menambahkan variabel yang mempengaruhi dalam proses simulasi. Ada beberapa jenis variabel yang mempengaruhi yang dapat ditambahkan, misalnya statistik seperti variabel populasi dan ekonomi dan variabel dinamis seperti ketinggian dan kemiringan. Memasukkan variabel jenis ini menghasilkan hasil

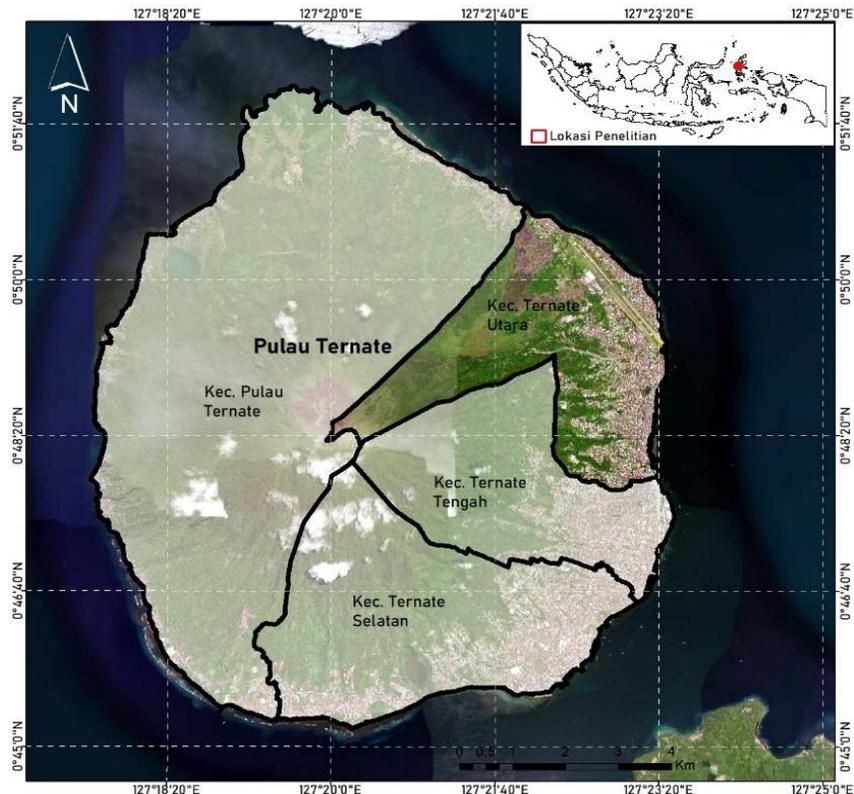
yang tidak hanya lebih realistis tetapi juga jauh lebih akurat (Hegazy and Kaloop, 2015).

Dalam penelitian ini, Kecamatan Ternate Utara dipilih sebagai wilayah studi kasus karena wilayah ini mengalami pertumbuhan penduduk yang pesat dan lahan terbangun yang mengalami penambahan luasan setiap tahunnya. Dalam penelitian ini, model CA-Markov dipilih untuk memprediksi perubahan tutupan lahan di Kecamatan Ternate Utara dengan menggunakan *software* ArcGIS dan IDRISI Selva. Model ini banyak digunakan dalam bidang studi ini karena beberapa alasan seperti kesederhanaan dan keakuratannya. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi perubahan tutupan lahan di

Kecamatan Ternate Utara pada tahun 2003, 2013, 2023 dan 2032 berbasis CA-Markov.

Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Ternate Utara yang merupakan salah satu kecamatan yang berada di Kota Ternate, Pulau Ternate, Provinsi Maluku Utara. Lokasi Penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Penelitian ini menggunakan data vektor RBI (Rupa Bumi Indonesia) dan data DEM Nasional Kota Ternate yang diperoleh dari Ina-Geoportal <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web>) yang merupakan website resmi dari Badan Informasi Geospasial.



Gambar 1. Lokasi penelitian.

Data citra satelit Landsat 5 tahun 2003 dan 2013 serta Landsat 8 tahun 2023 yang diperoleh dari *EarthExplorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) yang merupakan website resmi dari *United States Geological Survey* (USGS) digunakan untuk menganalisis tutupan lahan Kecamatan Ternate Utara. Data Google Earth tahun 2023 digunakan untuk mengklasifikasi variabel *Point of Interest* (POI) (fasilitas kesehatan dan fasilitas pendidikan) yang

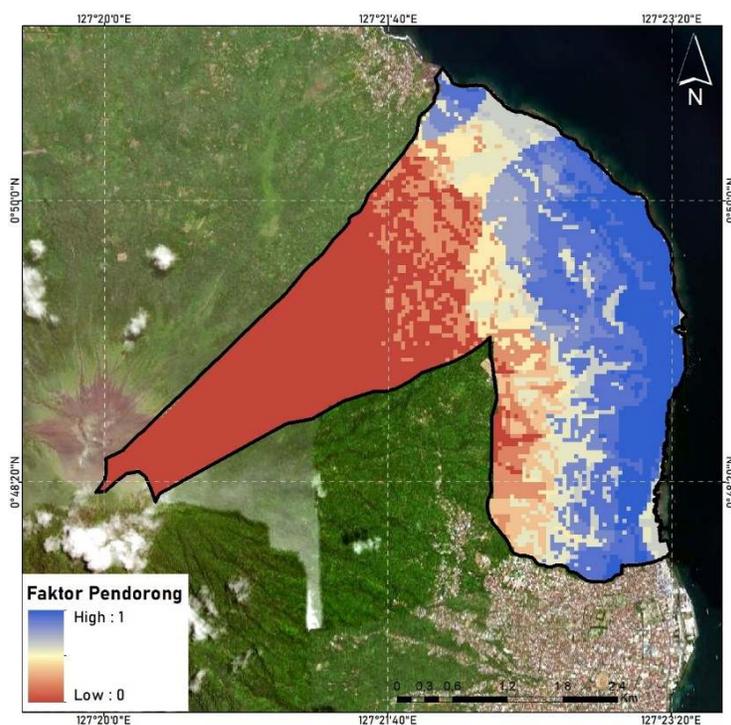
ada di Kecamatan Ternate Utara. Tutupan lahan di Kecamatan Ternate Utara diklasifikasi berdasarkan SNI 7645-2010 tentang Klasifikasi Penutup Lahan yang terdiri atas lahan terbangun, daerah bukan pertanian, daerah pertanian, lahan terbuka, dan badan air.

Penelitian ini menggunakan metode CA-Markov atau Celular Automata-Markov Chain. Cellular Automata (CA) Markov adalah salah satu

metode yang dapat digunakan untuk memprediksi perubahan tutupan lahan. Metode ini menggunakan model matematika dan data spasial untuk menghasilkan prediksi mengenai pola perubahan tutupan lahan di masa depan (Ajeeb *et al.*, 2020). Metode CA-Markov bekerja dengan memanfaatkan prinsip perubahan probabilistik yang memperhitungkan kemungkinan perubahan dari satu jenis tutupan lahan ke jenis tutupan lahan lainnya (Xu *et al.*, 2022).

Metode ini menggunakan beberapa parameter seperti matriks transisi, probabilitas transisi, dan pengaruh faktor eksternal untuk memperkirakan perubahan tutupan lahan (Ghosh *et al.*, 2017). Dengan menggunakan metode CA-Markov, dapat dilakukan prediksi perubahan tutupan lahan dengan akurasi yang tinggi. Hal ini akan sangat bermanfaat dalam merencanakan penggunaan lahan yang lebih efektif dan berkelanjutan serta dalam mengambil keputusan terkait penataan ruang yang tepat dan berkelanjutan. Penelitian ini menggunakan variabel

faktor pendorong perkembangan lahan terbangun di Kecamatan Ternate Utara diantaranya yaitu, kemiringan lereng, ketinggian lahan, jarak dari jalan dan jarak dari *Point of Interest* (POI) yang terdiri atas fasilitas kesehatan dan fasilitas pendidikan. Penggunaan faktor pendorong diatas dalam penelitian ini didasarkan pada penelitian-penelitian serupa dan kondisi fisik lokasi penelitian. Kemiringan lereng dan ketinggian yang landai dan datar sangat diperhitungkan untuk pengembangan lahan terbangun atau membangun permukiman, hal ini berbanding terbalik dengan daerah yang memiliki lereng yang curam. Menurut Sugandhi *et al.* (2022), kemiringan lereng adalah salah satu faktor yang mempengaruhi perkembangan lahan terbangun atau bangunan di suatu daerah. Kemiringan lereng yang curam dapat membatasi perkembangan lahan terbangun karena mempersulit proses konstruksi dan dapat meningkatkan risiko bencana alam seperti longsor dan banjir (Rakuasa *et al.*, 2022).



Gambar 2. Faktor Pendorong.

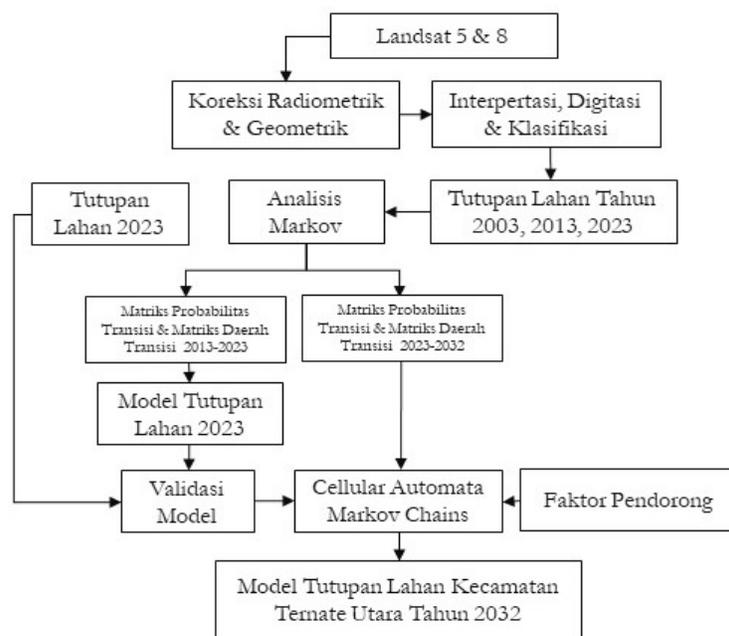
Menurut Lamonda *et al.* (2019), masyarakat cenderung membangun permukiman di dekat dengan jalan raya dan fasilitas umum yakni fasilitas kesehatan dan fasilitas pendidikan. Jarak dari jalan, pusat pendidikan, dan kesehatan dapat mempengaruhi perkembangan lahan terbangun.

Semakin dekat lahan terbangun dengan jalan, pusat pendidikan, dan kesehatan, maka kemungkinan besar akan lebih mudah diakses dan menjadi lebih menarik bagi orang untuk tinggal atau berbisnis di area tersebut. Di sisi lain, semakin jauh lahan terbangun dari jalan, pusat pendidikan, dan

kesehatan, maka akan menjadi lebih sulit diakses dan kurang menarik bagi orang untuk tinggal atau berbisnis di area tersebut (Latue dan Rakuasa 2022). Dengan demikian, jarak dari jalan, pusat pendidikan, dan kesehatan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perkembangan lahan terbangun. Semakin dekat lahan terbangun dengan jalan, pusat pendidikan, dan kesehatan, maka akan semakin menarik bagi orang untuk tinggal atau berbisnis di area tersebut dan berpotensi untuk berkembang dengan cepat (Zhou *et al.*, 2022). Keempat variabel faktor pendorong kemudian dioverlay menggunakan teknik *Fuzzy Overlay*. Hasil *overlay* faktor pendorong menunjukkan nilai fuzzy tertinggi yaitu 1 dan terendah yaitu 0. Nilai tertinggi (1) menunjukkan bahwa daerah sangat sesuai untuk pengembangan lahan terbangun sebaliknya dengan (0) nilai terendah yang tidak sesuai untuk pengembangan lahan terbangun. Pengolahan data citra satelit landsat 5 dan 8 dimulai dari koreksi radiometrik, koreksi geometrik kemudian dilakukan interpretasi, digitasi dan klasifikasi berdasarkan SNI

7645-2010 tentang Klasifikasi Penutupan Lahan yang terdiri atas lahan terbangun, daerah bukan pertanian, daerah pertanian, lahan terbuka, dan badan air. Faktor pendorong yang digunakan yakni kemiringan lereng, ketinggian lahan, jarak dari jalan dan Point of Interest (POI) yang terdiri atas fasilitas kesehatan dan fasilitas pendidikan yang didasari dari penelitian Sugandhi *et al.* (2022); Latue dan Rakuasa (2023).

Prediksi tutupan lahan dilakukan menggunakan software IDRISI Selva dan Arc GIS. Prediksi tutupan lahan dilakukan di software IDRISI Selva menggunakan *tools* Markov dengan melakukan simulasi tutupan lahan pada tahun 2023 yang kemudian dilakukan validasi dengan menggunakan tutupan lahan tahun 2023 eksisting. Uji validasi dilakukan dengan menggunakan K-standar (*Kappa Coefficient*), Jika hasil akurasi simulasi tercapai >75% maka tidak perlu dilakukan pengulangan proses akurasi dan dapat dilanjutkan ke proses pemodelan selanjutnya. Alur kerja penelitian disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Alur kerja.

Hasil dan Pembahasan

Perubahan tutupan lahan Kecamatan Ternate Utara tahun 2003, 2013 dan 2023

Perubahan tutupan lahan diartikan sebagai perubahan yang terjadi dalam penggunaan lahan dari satu jenis tutupan lahan ke jenis tutupan lahan yang lain, baik yang disebabkan oleh faktor alami

maupun faktor manusia. Contoh perubahan tutupan lahan antara lain perubahan dari lahan hutan menjadi lahan pertanian, perubahan dari lahan pertanian menjadi permukiman, atau perubahan dari lahan terbuka menjadi hutan. Perubahan tutupan lahan dapat memiliki dampak signifikan pada lingkungan dan kehidupan manusia, sehingga penting untuk memperhatikan dan

mengelola perubahan tutupan lahan secara berkelanjutan untuk meminimalkan dampak negatifnya (Talukdar *et al.*, 2020). Hasil analisis menunjukkan bahwa tutupan lahan terbangun di Kecamatan Ternate Utara pada tahun 2003, 2013 dan 2023 terus mengalami penambahan luasan.

Pada tahun 2003 lahan terbangun memiliki luas yaitu 458,13 ha, tahun 2013 seluas 568,59 ha dan pada tahun 2023 seluas 604,25 ha. Lahan terbuka di tahun 2003 memiliki luas 94,09 ha mengalami penambahan luasan di tahun 2013 seluas 127,09 ha dan tahun 2023 seluas 158,29 ha.



Gambar 4. Tutupan lahan tahun 2003, 2013 dan 2023.

Lahan pertanian dan lahan bukan pertanian di Kecamatan Ternate Utara mengalami penurunan luasan setiap tahunnya dimana di tahun 2003 lahan pertanian seluas 723,02 ha mengalami penurunan luasan di tahun 2013 seluas 681,77 ha dan 599,73 ha di tahun 2023. Lahan bukan pertanian di tahun 2003 diprediksi seluas 273,67 ha, mengalami penurunan luasan 237,47 ha di tahun 2013 dan 219,65 ha di tahun 2023, hal ini berbeda dengan badan air yang tidak mengalami penambahan maupun penurunan luasan dimana badan air memiliki luas 9,84 ha. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Sarihi *et al.* (2020), penambahan jumlah penduduk merupakan faktor yang paling mempengaruhi perubahan tutupan lahan di Kecamatan Ternate Utara.

Simulasi tutupan lahan Kecamatan Ternate Utara tahun 2023

Analisis CA-Markov menghasilkan Transition Probability Matrix (TPM) dari tahun 2013-2023 dan

dari tahun 2023-2032. Transition Probability Matrix (TPM) pada analisis CA-Markov di software IDRISI Selva adalah matriks yang menunjukkan probabilitas perpindahan atau perubahan dari satu jenis tutupan lahan ke jenis tutupan lahan yang lain dalam satu periode waktu ke periode waktu berikutnya. Matriks ini digunakan dalam analisis CA-Markov untuk memodelkan perubahan tutupan lahan dari waktu ke waktu. Matriks TPM yang dihasilkan dapat digunakan untuk memprediksi perubahan tutupan lahan pada periode waktu berikutnya dengan menggunakan model CA-Markov. Dengan memperhitungkan probabilitas perpindahan dari satu jenis tutupan lahan ke jenis tutupan lahan yang lain, model CA-Markov dapat menghasilkan skenario perubahan tutupan lahan pada masa depan yang berbeda-beda. Transition Probability Matrix (TPM) tahun 2003-2023 dapat dilihat pada Tabel 1. Besaran nilai Transition Probability Matrix (TPM) pada Tabel 1 berada pada kisaran 0-1.

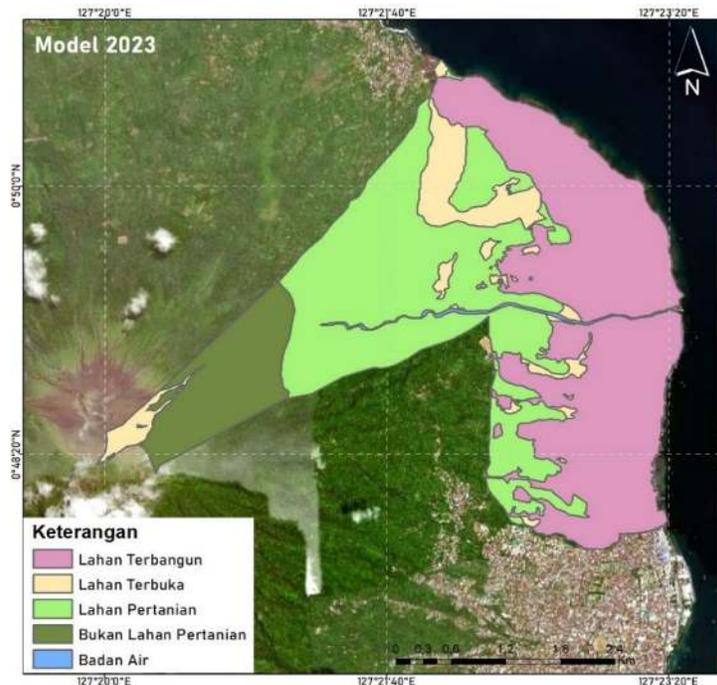
Tabel 1. Transition probability matrix (TPM) tahun 2003-2023.

	CL.1	CL.2	CL.3	CL.4	CL.5
CL.1	0,8500	0,0375	0,0375	0,0375	0
CL.2	0,3966	0,5654	0	0,0381	0
CL.3	0,2149	0,0299	0,7553	0	0
CL.4	0	0	0,2720	0,7280	0
CL.5	0	0	0	0	1

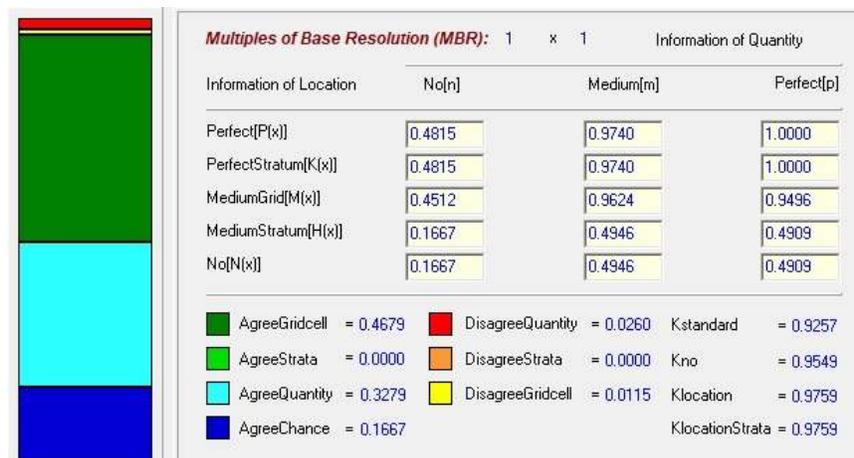
Keterangan: CL.1= Lahan Terbagun, CL.2= Lahan Terbuka, CL.3= Lahan Pertanian, CL.4= Bukan Lahan Terbuka, CL.5= Badan Air.

Semakin besar nilai probabilitas pada tutupan lahan tujuan, maka akan semakin besar kemungkinan tutupan lahan sederhana dapat dilihat bahwa tutupan lahan terbuka memiliki kemungkinan lebih tinggi untuk berubah menjadi permukiman dengan nilai TPM sebesar 0.3966, sedangkan angka 1 pada jenis tutupan lahan badan air menunjukkan bahwa tutupan lahan tersebut akan tetap dan tidak berubah ke tutupan lahan lainnya. Hasil model tutupan lahan tahun 2023 dapat dilihat pada Gambar 5.

Hasil simulasi tutupan lahan tahun 2023 kemudian dilakukan uji akurasi menggunakan uji Kappa. Uji validasi dilakukan dengan menggunakan K-standar (*Kappa Coefficient*); jika hasil akurasi simulasi tercapai >75% maka tidak perlu dilakukan pengulangan proses akurasi dan dapat dilanjutkan ke proses pemodelan selanjutnya. Uji validasi menunjukkan nilai K-standar 0,9257 atau 92,57 %, artinya hasil uji akurasi sangat baik untuk dilakukan prediksi tutupan lahan tahun 2032 (Gambar 6).



Gambar 5. Simulasi tutupan lahan tahun 2023.



Gambar 6. Uji validasi model tutupan lahan tahun 2023.

Model tutupan lahan Kecamatan Ternate Utara tahun 2032

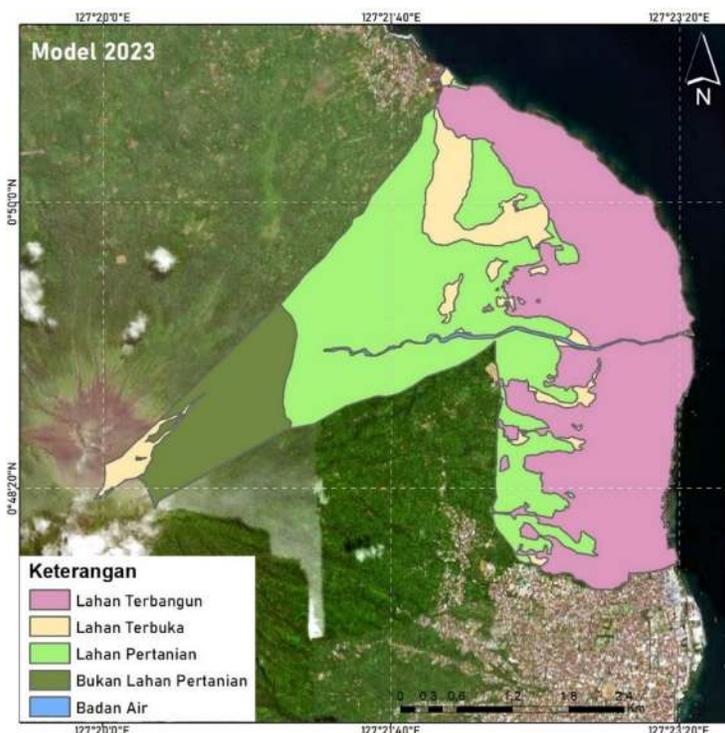
Sama seperti Transition Probability Matrix (TPM) pada Tabel 1, juga menghasilkan nilai TPM pada periode tahun 2023-2032. Besaran nilai TPM pada Tabel 2 berada pada kisaran 0-1. Semakin besar nilai probabilitas pada tutupan lahan tujuan, maka akan semakin besar kemungkinan tutupan lahan

sederhana dapat dilihat bahwa tutupan lahan terbuka memiliki kemungkinan lebih tinggi untuk berubah menjadi permukiman dengan nilai TPM sebesar 0,0916, sedangkan angka 1 pada jenis tutupan lahan badan air menunjukkan bahwa tutupan lahan tersebut akan tetap dan tidak berubah ke tutupan lahan lainnya. Transition Probability Matrix (TPM) tahun 2023-2032 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Transition probability matrix (TPM) tahun 2023-2032.

	CL.1	CL.2	CL.3	CL.4	CL.5
CL.1	0,8500	0,0375	0,0375	0,0375	0
CL.2	0,1931	0,8069	0	0	0
CL.3	0,0916	0,2009	0,7075	0	0
CL.4	0	0,0105	0,2079	0,7816	0
CL.5	0	0	0	0	1

Keterangan: CL.1= Lahan Terbangun, CL.2= Lahan Terbuka, CL.3= Lahan Pertanian, CL.4= Bukan Lahan Terbuka, CL.5= Badan Air.



Gambar 7. Model tutupan lahan Kecamatan Ternate Utara tahun 2032.

Hasil prediksi tutupan lahan pada tahun 2032 di Kecamatan Ternate Utara menunjukkan bahwa lahan terbangun memiliki luas yaitu 767,85 ha atau sebesar 48,24%, lahan terbuka seluas 149,90 ha atau sebesar 9,42 %, lahan pertanian seluas 531,47 ha

atau sebesar 33,39 %, bukan lahan pertanian seluas 132,70 ha atau sebesar 8,34 % dan badan air seluas 9,84 ha atau sebesar 0,62 %. Secara spasial tutupan lahan di Kecamatan Ternate Utara dapat dilihat pada Gambar 7. Menurut Sarihi *et al.* (2020),

pertambahan penduduk di Kecamatan Ternate Utara dapat berpengaruh signifikan terhadap peningkatan luasan lahan terbangun di wilayah tersebut. Pertambahan penduduk biasanya diikuti oleh kebutuhan akan lahan untuk hunian, infrastruktur, dan kegiatan ekonomi. Hal ini mendorong konversi lahan pertanian, hutan, atau lahan kosong menjadi lahan terbangun seperti pemukiman, perkantoran, pusat perbelanjaan, atau industri. Peningkatan luasan lahan terbangun dapat memiliki konsekuensi penting, baik dari segi lingkungan maupun sosial. Beberapa dampak yang mungkin terjadi adalah:

Hasil prediksi tutupan lahan Kecamatan Ternate Utara tahun 2032 sangat bermanfaat diantaranya yaitu untuk perencanaan pembangunan wilayah yang lebih tepat sasaran, pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan, pengendalian konflik agraria, pengembangan usaha berbasis ekonomi lokal, penyediaan data dasar untuk penelitian dan pengembangan. Menurut Letedara *et al.* (2023), dengan memprediksi tutupan lahan di masa depan, pemerintah daerah dan stakeholder terkait dapat merencanakan pembangunan wilayah yang lebih tepat sasaran dan terukur. Hal ini dapat mengurangi risiko kesalahan dalam perencanaan dan membantu mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya yang tersedia. Mustafa *et al.* (2021) menjelaskan bahwa dengan memprediksi tutupan lahan di masa depan, pemerintah dan stakeholder terkait dapat mengembangkan strategi pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan dan mencegah terjadinya degradasi lingkungan. Hal ini akan membantu menjaga keberlanjutan lingkungan hidup dan meminimalkan dampak negatif pembangunan wilayah. Menurut Latue dan Rakuasa (2023), dengan memprediksi tutupan lahan di masa depan, data dan informasi yang dihasilkan dapat menjadi dasar untuk melakukan penelitian dan pengembangan yang lebih lanjut. Hal ini akan membantu meningkatkan pemahaman tentang dinamika perubahan tutupan lahan dan mendorong pengembangan solusi-solusi inovatif untuk mengatasi masalah yang berkaitan dengan tutupan lahan di daerah tersebut. Munthali *et al.* (2020) menambahkan bahwa prediksi tutupan lahan dapat membantu mencegah konflik agraria di masa depan. Dengan memahami perubahan tutupan lahan yang akan terjadi, pemerintah dan stakeholder terkait dapat mengambil tindakan preventif untuk mencegah terjadinya konflik. Dengan demikian, prediksi tutupan lahan memiliki pentingnya yang besar dalam pembangunan wilayah yang berkelanjutan dan pengelolaan sumber daya alam

yang efektif. Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pemerintah, akademisi, dan masyarakat kedepannya.

Kesimpulan

Selama 30 tahun dari tahun 2003, 2013 dan 2023 lahan terbangun terus mengalami pertambahan luasan, berbeda dengan jenis tutupan lahan lainnya. Hasil prediksi pada tahun 2032 menunjukkan bahwa lahan terbangun di Kecamatan Ternate Utara terus mengalami pertambahan luasan seiring pertambahan jumlah penduduk yang meningkat setiap tahunnya. Hasil prediksi ini sangatlah bermanfaat bagi pemerintah dalam pengambilan kebijakan terkait penataan ruang di Kecamatan Ternate Utara kedepannya.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih pada Departemen Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia yang memfasilitasi peneliti dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Ajeeb, R., Aburas, M.M., Baba, F., Ali, A. and Alazaiza, M.Y. 2020. The prediction of urban growth trends and patterns using spatio-temporal CA-MC model in Seremban Basin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 540:1, doi:10.1088/1755-1315/540/1/012028.
- Getu, K. and Bhat, H.G. 2022. Dynamic simulation of urban growth and land use change using an integrated Cellular Automata and Markov chain models: a case of Bahir Dar city, Ethiopia. *Arabian Journal of Geosciences* 15(11):1049, doi:10.1007/s12517-022-10304-1.
- Ghosh, P., Mukhopadhyay, A., Chanda, A., Mondal, P., Akhand, A., Mukherjee, S., Nayak, S.K., Ghosh, S., Mitra, D., Ghosh, T. and Hazra, S. 2017. Application of Cellular automata and Markov-chain model in geospatial environmental modeling-A review. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 5:64-77, doi:10.1016/j.rsase.2017.01.005.
- Hegazy, I.R. and Kaloop, M.R. 2015. Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia governorate Egypt. *International Journal of Sustainable Built Environment* 4(1):117-124, doi:10.1016/j.ijjsbe.2015.02.005.
- Kushwaha, K., Singh, M.M., Singh, S.K. and Patel, A. 2021. Urban growth modeling using earth observation datasets, Cellular Automata-Markov Chain model and urban metrics to measure urban

- footprints. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 22:100479, doi:10.1016/j.rsase.2021.100479.
- Lamonda, R., Hernina, R., Manessa, M.D.M. and Ristya, Y. 2019. Spatial dynamics model for land carrying capacity prediction in Tangerang Selatan City. *E3S Web of Conferences* 125:01006, doi:10.1051/e3sconf/201912501006.
- Latue, P.C. dan Rakuasa, H. 2022. Dinamika spasial wilayah rawan tsunami di Kecamatan Nusaniwe, Kota Ambon, Provinsi Maluku. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing* 3(2):77-87, doi:10.23960/jgrsm.2022.v3i2.98.
- Latue, P.C. and Rakuasa, H. 2023a. Analysis of land cover change due to urban growth in Central Ternate District, Ternate City using Cellular Automata-Markov chain. *Journal of Applied Geospatial Information* 7(1):722-728, doi:10.30871/jagi.v7i1.4653.
- Latue, P.C. and Rakuasa, H. 2023b. Spatial dynamics of land cover change in Wae Batu Gantung Watershed, Ambon City, Indonesia. *International Journal of Scientific Multidisciplinary Research* 1(3):117-130, doi:10.55927/ijsmr.v1i3.3623.
- Letedara, R., Rakuasa, H. and Latue, P.C. 2023. Cellular Automata Markov chain application for prediction of land cover changes in the Wae Batu Gantung Watershed, Ambon City, Indonesia. *Journal of Multidisciplinary Science* 2(2):113-122, doi:10.58330/prevenire.v2i2.191.
- Mohamed, A., Worku, H. and Lika, T. 2020. Urban and regional planning approaches for sustainable governance: The case of Addis Ababa and the surrounding area changing landscape. *City and Environment Interactions* 8:100050, doi:10.1016/j.cacint.2020.100050.
- Munthali, M.G., Mustak, S., Adeola, A., Botai, J., Singh, S.K. and Davis, N. 2020. Modelling land use and land cover dynamics of Dedza District of Malawi using hybrid Cellular Automata and Markov Model. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 17:100276, doi:10.1016/j.rsase.2019.100276.
- Mustafa, A., Ebaid, A., Omrani, H. and McPhearson, T. 2021. A multi-objective Markov Chain Monte Carlo cellular automata model: Simulating multi-density urban expansion in NYC. *Computers, Environment and Urban Systems* 87:101602, doi:10.1016/j.compenvurbsys.2021.101602.
- Pertuack, S., Latue, P.C. dan Rakuasa, H. 2023. Analisis spasial daya dukung lahan permukiman Kota Ternate. *ULIL ALBAB : Jurnal Ilmiah Multidisiplin* 2(6):2084-2090, doi:10.56799/jim.v2i6.1574.
- Rakuasa, H. and Pakniany, Y. 2022. Spatial dynamics of land cover change in Ternate Tengah District, Ternate City, Indonesia. *Forum Geografi* 36(2):126-135, doi:10.23917/forgeo.v36i2.19978.
- Rakuasa, H., Sihasale, D.A. dan Latue, P.C. 2022. Model tutupan lahan di daerah aliran sungai Kota Ambon Tahun 2031: Studi Kasus DAS Wai Batu Gantung, Wai Batu Gajah, Wai Tomu, Wai Batu Merah dan Wai Ruhu. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* 9(2):473-486, doi:10.21776/ub.jtssl.2022.009.2.29.
- Salakory, M. and Rakuasa, H. 2022. Modeling of Cellular Automata Markov chain for predicting the carrying capacity of Ambon City. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* 12(2):372-387, doi:10.29244/jpsl.12.2.372-387.
- Sarihi, Y.R., Tilaar, S. dan Rengkung, M.M. 2020. Analisis penggunaan lahan di Pulau Ternate. *Spasial* 7(3):259-268.
- Somae, G., Supriatna, S., Rakuasa, H. dan Lubis, A.R. 2023. Pemodelan spasial perubahan tutupan lahan dan prediksi tutupan lahan Kecamatan Teluk Ambon Baguala Menggunakan CA-Markov. *Jurnal Sains Informasi Geografi* 6(1):10-19, doi:10.31314/jsig.v6i1.1832.
- Sugandhi, N., Supriatna, S., Kusratmoko, E. dan Rakuasa, H. 2022. Prediksi perubahan tutupan lahan di Kecamatan Sirimau, Kota Ambon menggunakan Celular Automata-Markov Chain. *Jurnal Pendidikan Geografi* 9(2):104-118, doi:10.20527/jpg.v9i2.13880.
- Talukdar, S., Singha, P., Mahato, S., Pal, S., Liou, Y.A. and Rahman, A. 2020. Land-use land-cover classification by machine learning classifiers for satellite observations-A review. *Remote Sensing*, 12(7):1135, doi:10.3390/rs12071135.
- Xu, T., Zhou, D. and Li, Y. 2022. Integrating ANNs and Cellular Automata-Markov Chain to simulate urban expansion with annual land use data. *Land* 11(7):1074, doi:10.3390/land11071074.
- Zhou, Y., Wu, T. and Wang, Y. 2022. Urban expansion simulation and development-oriented zoning of rapidly urbanising areas: A case study of Hangzhou. *Science of The Total Environment* 807:150813, doi:10.1016/j.scitotenv.2021.150813.