TSAQOFAH
Jurnal Penelitian Guru Indonesia

p-ISSN: 2810-0395
e-ISSN: 2810-0042

Terindeks : Dimensions, Scilit, Lens, Semantic, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/tsaqofah.v5i5.6839

PREDIKSI PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN KOTA BUKITTINGGI MENGGUNAKAN INTEGRASI *CELLULAR AUTOMATA* DAN *ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS*

Prediction of Land Use Change in Bukittinggi City Using the Integration of Cellular Automata and Analytical Hierarchy Process

Viery Armensyah & Iswandi
Universitas Negeri Padang
armensyahviery@gmail.com

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Jun 15, 2025	Jul 7, 2025	Jul 19, 2025	Jul 24, 2025

Abstract

Land use change is a strategic issue in managing rapidly growing urban areas, including the city of Bukittinggi. Urbanization, population growth, and infrastructure development have driven the conversion of green spaces into built-up areas, resulting in increased environmental disaster risks and pressure on ecosystems. This study aims to analyze the land cover change patterns in Bukittinggi from 2017 to 2023 and to predict future changes by 2035 through the integration of the Cellular Automata (CA) and Analytical Hierarchy Process (AHP) models. The methodology includes Landsat satellite image classification and spatial analysis using Geographic Information Systems (GIS). The AHP model was applied to assign weights to various factors influencing land use change, such as accessibility, population density, and land use types, which were then integrated into the CA predictive simulation. The results indicate a trend of increasing built-up land and a significant decline in agricultural and forest areas. The

Tsaqofah journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

integration of CA and AHP models produced more accurate spatial predictions, offering a reliable basis for sustainable spatial planning. These findings contribute significantly to policy-making by supporting the design of urban development strategies that are both adaptive to change and environmentally sustainable.

Keywords: Land Use Change; Bukittinggi City; Cellular Automata; Analytical Hierarchy Process; GIS

Abstrak: Perubahan penggunaan lahan merupakan isu strategis dalam pengelolaan wilayah perkotaan yang mengalami pertumbuhan pesat, termasuk di Kota Bukittinggi. Urbanisasi, peningkatan jumlah penduduk, dan pembangunan infrastruktur telah mendorong alih fungsi lahan hijau menjadi area terbangun, yang berdampak pada meningkatnya risiko bencana lingkungan dan tekanan terhadap ekosistem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola perubahan penutup lahan di Kota Bukittinggi dari tahun 2017 hingga 2023 serta memprediksi perubahan pada tahun 2035 dengan mengintegrasikan model *Cellular Automata* (CA) dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Metode yang digunakan meliputi klasifikasi citra satelit Landsat dan analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Model AHP digunakan untuk menentukan bobot faktor-faktor yang memengaruhi perubahan lahan, seperti aksesibilitas, kepadatan penduduk, dan jenis penggunaan lahan, yang kemudian diintegrasikan dalam simulasi prediktif CA. Hasil penelitian menunjukkan tren peningkatan lahan terbangun serta penurunan signifikan pada area pertanian dan hutan. Integrasi CA dan AHP menghasilkan prediksi spasial yang lebih akurat, sehingga dapat dijadikan dasar dalam perencanaan tata ruang yang berkelanjutan. Temuan ini memberikan kontribusi penting bagi pengambil kebijakan dalam merancang strategi pembangunan kota yang adaptif terhadap perubahan dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: Perubahan Penggunaan Lahan; Kota Bukittinggi; *Cellular Automata*; *Analytical Hierarchy Process*; SIG

PENDAHULUAN

Perubahan Penggunaan Lahan adalah salah satu fenomena yang kerap terjadi seiring dengan perkembangan wilayah, terutama di daerah perkotaan. Fenomena ini dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti pertumbuhan penduduk, pembangunan infrastruktur, dan aktivitas ekonomi. Di Indonesia, urbanisasi yang pesat sering kali tidak diimbangi dengan perencanaan tata ruang yang matang, sehingga menyebabkan perubahan Penggunaan Lahan yang tidak terkendali dan berdampak negatif terhadap lingkungan serta kualitas hidup masyarakat (Prasetyo, 2020).

Secara umum, perubahan Penggunaan Lahan yang tidak terkontrol dapat menyebabkan berbagai masalah lingkungan, seperti degradasi lahan, hilangnya keanekaragaman hayati, serta peningkatan risiko bencana alam seperti banjir dan longsor.

Kondisi ini tidak hanya terjadi di kota-kota besar tetapi juga mulai dirasakan di kota-kota menengah yang sedang berkembang pesat. Salah satu contohnya adalah Kota Bukittinggi di Sumatera Barat.

Bukittinggi, sebagai salah satu kota penting di Sumatera Barat, telah mengalami pertumbuhan yang signifikan dalam beberapa dekade terakhir. Kota ini tidak hanya berperan sebagai pusat pemerintahan dan ekonomi, tetapi juga menjadi destinasi pariwisata utama di wilayah tersebut. Pertumbuhan ini, meskipun membawa manfaat ekonomi, juga memicu tekanan terhadap Penggunaan Lahan, terutama dalam bentuk konversi lahan hijau menjadi lahan terbangun. Data dari Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa laju perubahan Penggunaan Lahan di Bukittinggi terus meningkat dalam beberapa tahun terakhir. Fenomena ini berdampak langsung pada degradasi lingkungan, hilangnya kawasan hijau yang vital, serta meningkatnya risiko bencana seperti banjir dan longsor (Siregar *et al.*, 2019).

Topografi Bukittinggi yang berbukit membuat kota ini lebih rentan terhadap bencana alam. Ketika Penggunaan Lahan alami seperti hutan dan lahan hijau berkurang, kemampuan tanah untuk menyerap air hujan menurun, yang pada akhirnya meningkatkan risiko banjir dan longsor. Selain itu, pembangunan yang tidak terkontrol juga dapat menyebabkan masalah lain seperti penurunan kualitas udara dan meningkatnya suhu kota, yang berpotensi menurunkan kualitas hidup masyarakat. Oleh karena itu, penting bagi pemerintah daerah dan pemangku kepentingan lainnya untuk memiliki alat yang efektif dalam memprediksi perubahan Penggunaan Lahan, guna merencanakan pembangunan yang berkelanjutan dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Data terbaru dari Badan Pusat Statistik Kota Bukittinggi (2023) menunjukkan bahwa luas lahan terbangun meningkat sebesar 15% dalam lima tahun terakhir, sementara luas ruang terbuka hijau menurun sebesar 10%. Fenomena ini berdampak langsung pada degradasi lingkungan, hilangnya kawasan hijau yang vital, serta meningkatnya risiko bencana seperti banjir dan longsor.

Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan pendekatan yang lebih canggih dan akurat dalam memprediksi perubahan Penggunaan Lahan. Salah satu pendekatan yang telah banyak digunakan adalah integrasi model *Cellular Automata* (CA) dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Model CA merupakan model matematis yang sering digunakan untuk memprediksi perubahan spasial dalam sistem yang kompleks, seperti Penggunaan Lahan. CA bekerja berdasarkan prinsip bahwa perubahan di suatu lokasi dipengaruhi oleh kondisi di sekitarnya,

sehingga memungkinkan simulasi perubahan Penggunaan Lahan yang dinamis (Fauzi *et al.*, 2022).

Namun, model CA memiliki kelemahan, yaitu tidak memperhitungkan faktor-faktor keputusan yang lebih kompleks, seperti kebijakan pemerintah, preferensi masyarakat, dan prioritas pembangunan. Untuk mengatasi kelemahan ini, metode AHP dapat diintegrasikan ke dalam model CA. AHP adalah metode pengambilan keputusan yang digunakan untuk menentukan prioritas dari berbagai faktor berdasarkan kepentingannya. Dengan menggabungkan AHP, model CA dapat memasukkan faktor-faktor keputusan yang lebih kompleks dalam prediksi perubahan Penggunaan Lahan, sehingga menghasilkan prediksi yang lebih akurat dan relevan dengan kondisi

Perubahan Penggunaan Lahan yang terjadi di Bukittinggi merupakan refleksi dari tren urbanisasi yang tidak terkendali di banyak kota menengah di Indonesia. Di Bukittinggi, peningkatan jumlah bangunan komersial, perumahan, serta infrastruktur pariwisata mengakibatkan berkurangnya area hijau yang vital bagi stabilitas ekosistem dan kesejahteraan masyarakat. Selain itu, perubahan Penggunaan Lahan ini juga memperburuk kondisi lingkungan kota yang rentan terhadap bencana alam. Data menunjukkan bahwa Bukittinggi telah kehilangan sebagian besar ruang terbuka hijau dalam beberapa tahun terakhir, sementara lahan terbangun terus bertambah secara signifikan.

Urgensi penelitian ini timbul dari kebutuhan mendesak untuk mengembangkan alat prediksi yang lebih akurat dan komprehensif guna membantu pemerintah daerah dan pemangku kepentingan lainnya dalam merencanakan pembangunan kota yang berkelanjutan. Mengingat pertumbuhan Bukittinggi yang pesat, tanpa adanya perencanaan tata ruang yang tepat, kota ini berisiko mengalami degradasi lingkungan yang serius, hilangnya daya tarik pariwisata, serta meningkatnya risiko bencana alam. Dengan menggunakan integrasi model CA dan AHP, penelitian ini bertujuan untuk memberikan prediksi yang lebih akurat dan dapat diandalkan mengenai perubahan Penggunaan Lahan, sehingga dapat dijadikan dasar dalam pengambilan keputusan yang lebih baik dan berkelanjutan.

Meskipun sudah banyak penelitian yang dilakukan mengenai prediksi perubahan Penggunaan Lahan menggunakan model CA, masih terdapat beberapa kesenjangan penelitian yang signifikan, khususnya dalam konteks kota menengah seperti Bukittinggi. Pertama, sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada kota-kota besar, sementara studi tentang prediksi perubahan Penggunaan Lahan di kota menengah dengan karakteristik

topografi dan dinamika pembangunan yang berbeda seperti Bukittinggi masih terbatas. Kedua, meskipun integrasi model CA dan AHP telah dibuktikan mampu memberikan hasil prediksi yang lebih akurat, masih sedikit penelitian yang mengaplikasikan pendekatan ini secara mendalam untuk mempertimbangkan faktor-faktor kebijakan dan sosial yang spesifik terhadap daerah tertentu (Ardiansyah *et al*., 2021). Selain itu, terdapat kekurangan dalam validasi hasil prediksi dengan data empiris yang terbaru, serta bagaimana hasil prediksi tersebut dapat digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan di tingkat lokal. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi gap tersebut dengan menggunakan data spasial terkini, serta metode validasi yang ketat untuk memastikan akurasi prediksi. Selain itu, penelitian ini juga akan memasukkan berbagai faktor yang relevan dengan konteks lokal di Bukittinggi, seperti kebijakan tata ruang, preferensi masyarakat, dan faktor pendorong perubahan penggunaan lahan melalui metode AHP.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya akan memberikan kontribusi signifikan dalam literatur terkait prediksi perubahan Penggunaan Lahan, tetapi juga menyediakan alat yang lebih akurat dan komprehensif untuk perencanaan tata ruang yang berkelanjutan di Kota Bukittinggi. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi acuan bagi pengambil keputusan dalam merumuskan kebijakan tata ruang yang lebih efektif, serta untuk penelitian selanjutnya yang mengeksplorasi integrasi CA dan AHP dalam konteks yang lebih luas.

METODE

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan analisis spasial penginderaan jauh, yang bertujuan menggambarkan perubahan penggunaan lahan berdasarkan data citra satelit (Sukmadinata, 2017; Sugiyono, 2018). Desain penelitian ini bersifat non-eksperimental, memanfaatkan data sekunder citra Landsat dan observasi lapangan untuk validasi klasifikasi penggunaan lahan tahun 2017, 2020, dan 2023. Populasi penelitian mencakup seluruh wilayah Kota Bukittinggi, dengan sampel area ditentukan melalui purposive sampling berdasarkan titik koordinat tertentu untuk memverifikasi kesesuaian data citra dengan kondisi nyata di lapangan (Fitzpatrick Lins dalam Projo, 2015). Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, dokumentasi visual, dan pengunduhan citra Landsat dari USGS, serta data SHP administrasi dari Inageoportal. Instrumen yang digunakan mencakup perangkat lunak ArcGIS 10.8, QGIS Las Palmas 2.18.15 (dengan plugin MOLUSCE), ENVI 5.1, dan Expert Choice untuk pembobotan

AHP. Analisis data dilakukan melalui klasifikasi citra dengan metode supervised classification, perhitungan akurasi dengan matriks kesalahan dan uji Kappa (Altman, 1991), serta prediksi perubahan penggunaan lahan menggunakan model Cellular Automata (CA) yang terintegrasi dengan Analytical Hierarchy Process (AHP) (Saaty, 1980; White & Engelen, 1993). Pendekatan ini memungkinkan pemodelan spasial yang komprehensif dengan mempertimbangkan faktor lingkungan dan sosial-ekonomi dalam proyeksi perubahan lahan.

HASIL

1. Perubahan Penggunaan Lahan Tahun 2017, 2020, dan 2023 Kota Bukittinggi

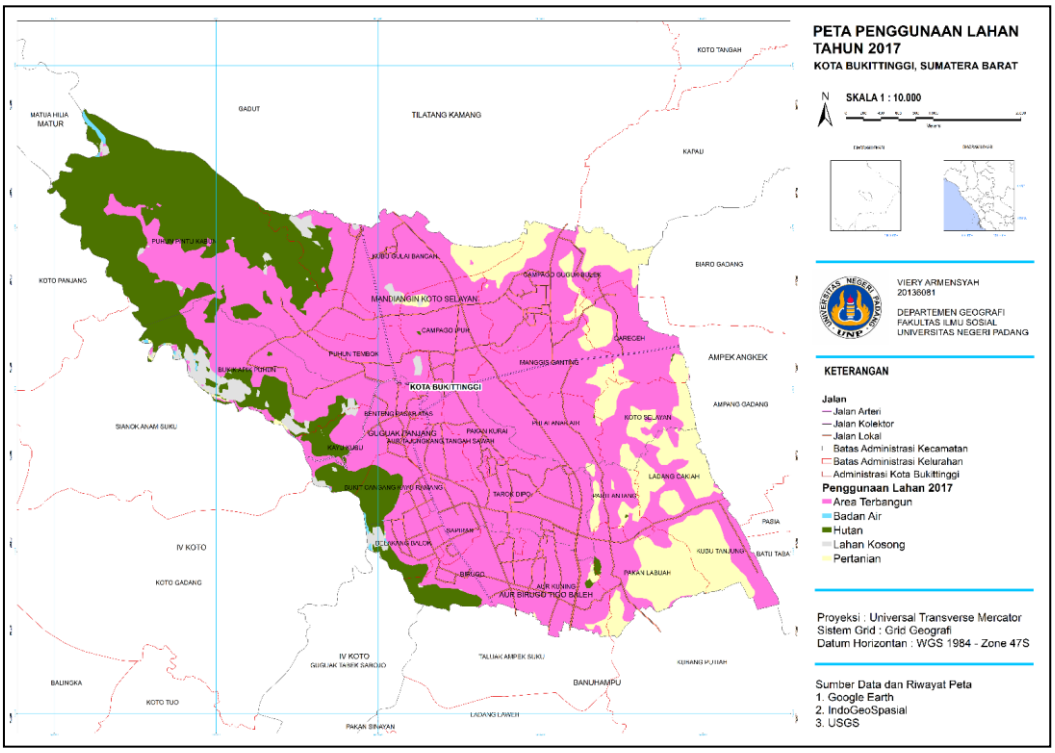
Analisis penggunaan lahan Kota Bukittinggi pada tahun 2017 dilakukan dengan menggunakan citra satelit Landsat yang diperoleh dari *United States Geological Survey* (USGS). Citra ini memiliki resolusi spasial 30 meter dan mencakup kanal-kanal multispektral yang mampu membedakan berbagai jenis penutup lahan berdasarkan karakteristik spektralnya. Interpretasi dilakukan dengan mengombinasikan kanal tertentu, seperti Band 5, 4, dan 3 untuk mengidentifikasi lahan pertanian; Band 4, 3, dan 2 untuk vegetasi alami seperti hutan dan semak; serta Band 7, 4, dan 2 untuk badan air. Metode klasifikasi yang diterapkan menggabungkan pendekatan *Object-Based Image Analysis* (OBIA) dengan supervised classification, memungkinkan hasil klasifikasi yang lebih akurat karena mempertimbangkan elemen spasial seperti bentuk, tekstur, dan pola objek. Seluruh analisis dibatasi pada wilayah administratif Kota Bukittinggi agar hasil yang diperoleh relevan secara spasial. Berdasarkan hasil klasifikasi tersebut, diperoleh enam kelas utama penggunaan lahan seperti ditampilkan pada tabel berikut Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Klasifikasi Penggunaan Lahan 2017

No	Kelas Penggunaan Lahan	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Area Terbangun	1590,36	65,80
2	Badan Air	4,05	0,17
3	Hutan	472,71	19,56
4	Lahan Kosong	45,39	1,88
5	Pertanian (Sawah)	304,16	12,58
	Total	**2417**	**100**

Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa meskipun wilayah Kota Bukittinggi didominasi oleh area terbangun, masih terdapat tutupan vegetasi alami yang cukup luas berupa hutan

dan lahan pertanian. Hal ini mencerminkan bahwa pada tahun 2017, keseimbangan antara kebutuhan pembangunan dan pelestarian lingkungan masih relatif terjaga. Urbanisasi memang sudah terlihat, namun belum menggeser dominasi tutupan vegetatif secara signifikan, terutama di daerah pinggiran kota



Gambar 1 Peta Penggunaan Lahan Tahun 2017

Selanjutnya Pada tahun 2020, analisis penggunaan lahan menggunakan citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS dengan kualitas tinggi, termasuk band tambahan seperti Coastal/Aerosol dan Cirrus untuk analisis atmosfer, serta band pankromatik 15 meter melalui proses pan-sharpening untuk meningkatkan ketajaman spasial. Klasifikasi lahan dilakukan dengan kombinasi band yang disesuaikan dengan jenis objek, seperti Band 5-4-3 untuk vegetasi, Band 6-5-4 untuk pertanian, dan Band 7-5-3 untuk badan air.

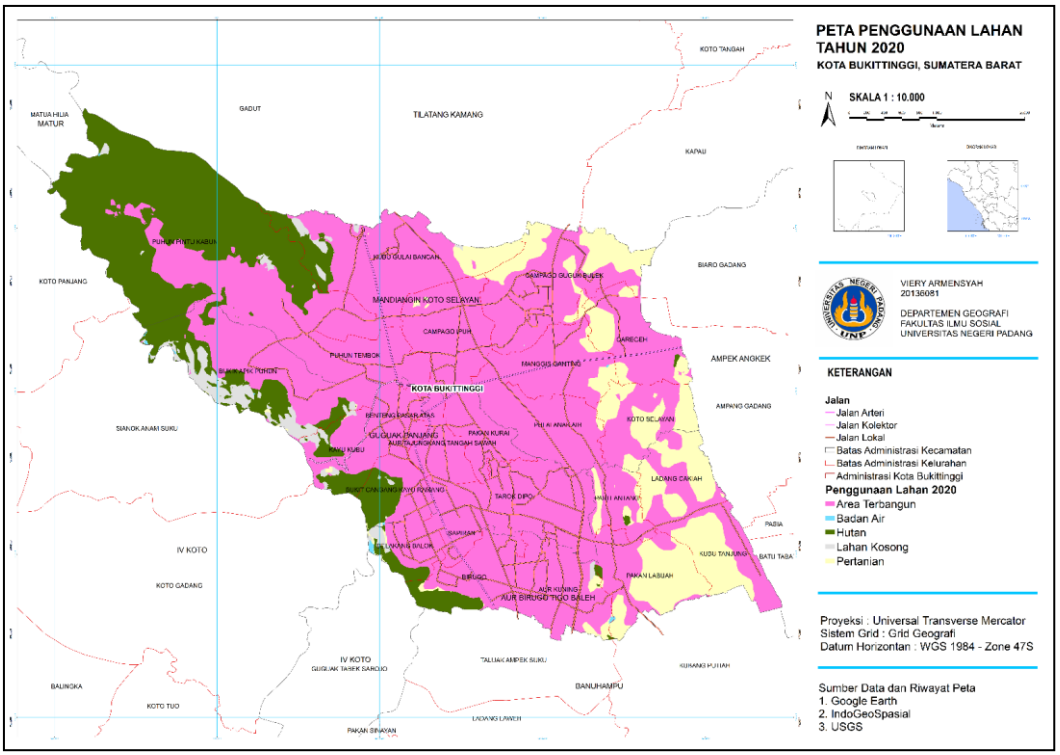
Metode klasifikasi menggunakan pendekatan gabungan OBIA dan klasifikasi terbimbing, didukung data pelatihan hasil survei lapangan serta segmentasi berdasarkan bentuk dan tekstur. Analisis dibatasi pada wilayah administratif Kota Bukittinggi. Hasil klasifikasi menunjukkan peningkatan signifikan area terbangun, mencerminkan percepatan urbanisasi di pusat kota dan sekitarnya.

Tabel 1 Klasifikasi Penggunaan Lahan Tahun 2020

No	Kelas Penggunaan Lahan	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Area Terbangun	1603,62	66,35
2	Badan Air	1,66	0,07
3	Hutan	460,73	19,06
4	Pertanian (Sawah)	49,61	2,05
5	Tanah Kosong	301,01	12,46
	Total	**2417**	**100**

Sumber: Hasil olahan penelitian, 2025

Dibandingkan tahun 2017, area terbangun menunjukkan peningkatan baik secara luas maupun persentase. Hal ini menandakan percepatan pembangunan perumahan, sarana prasarana kota, dan fasilitas publik. Namun, peningkatan ini juga berdampak pada penurunan lahan pertanian dan hutan, yang mulai tergerus oleh ekspansi fisik kota. Lahan kosong mengalami sedikit peningkatan, yang bisa menjadi indikasi adanya lahan dalam proses transisi pemanfaatan.



Gambar 2 Peta Penggunaan Lahan Tahun 2020

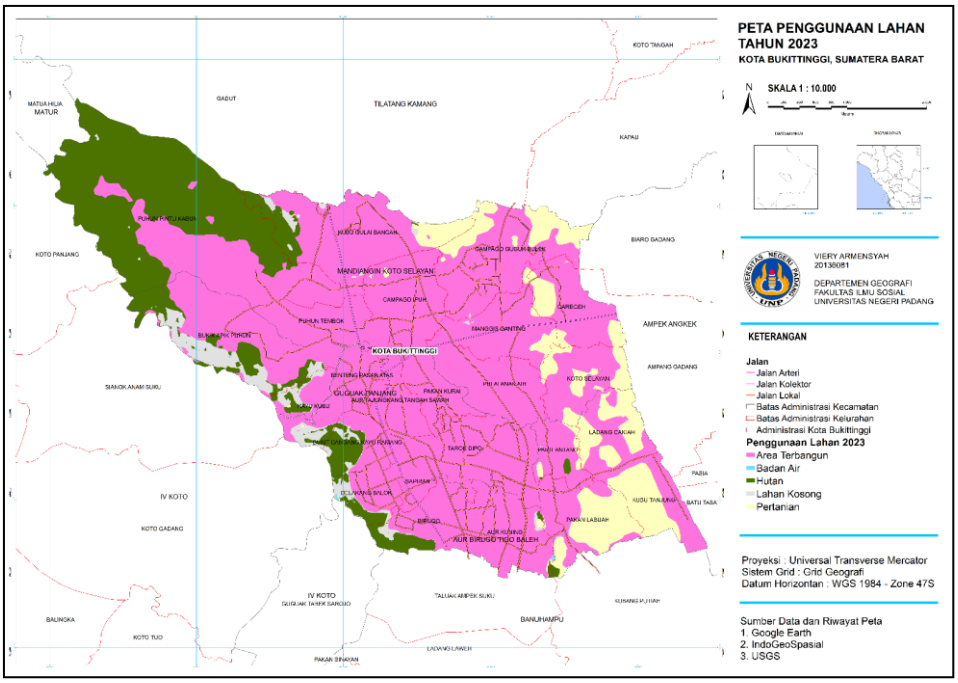
Selanjutnya, Analisis penggunaan lahan di Kota Bukittinggi pada tahun 2023 dilakukan menggunakan citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS yang memiliki resolusi spasial 30 meter pada kanal multispektral dan 15 meter pada kanal pankromatik. Citra ini cukup andal

untuk pemetaan penutup lahan di wilayah kota. Proses klasifikasi dilakukan dengan pendekatan *Object-Based Image Analysis* (OBIA) yang digabungkan dengan metode klasifikasi terbimbing (supervised classification). Pendekatan ini memanfaatkan segmentasi objek berdasarkan bentuk, ukuran, dan tekstur, serta pelatihan klasifikasi dari data lapangan dan referensi spasial lainnya. Dalam proses klasifikasi, digunakan kombinasi band-band tertentu sesuai karakteristik masing-masing tutupan lahan: kombinasi Band 5 (Near Infrared), Band 4 (Red), dan Band 3 (Green) digunakan untuk mengidentifikasi vegetasi secara umum; kombinasi Band 6 (Shortwave Infrared 1), Band 5, dan Band 4 digunakan untuk mendeteksi pertanian; dan kombinasi Band 7 (Shortwave Infrared 2), Band 5, dan Band 3 digunakan untuk mengidentifikasi badan air.

Tabel 3 Klasifikasi Penggunaan Lahan tahun 2023

No	Klasifikasi	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Area Terbangun	1660,49	68,72
2	Badan Air	0,51	0,02
3	Hutan	428,13	17,71
4	Lahan Kosong	73,27	3,05
5	Pertanian	254,18	10,51
	Total	**2417**	**100**

Berdasarkan hasil klasifikasi, diperoleh lima kelas utama penggunaan lahan di Kota Bukittinggi, yaitu area terbangun, badan air, hutan, lahan kosong, dan pertanian, dengan total luas wilayah sebesar 2.416,59 hektar. Area terbangun mendominasi hampir seluruh wilayah kota dengan luas 1.660,49 hektar atau sebesar 68,72%. Hal ini menunjukkan tingkat urbanisasi yang sangat tinggi dan konsisten meningkat dari tahun-tahun sebelumnya. Sementara itu, hutan hanya tersisa seluas 428,13 hektar (17,71%) dan pertanian menyusut menjadi 254,18 hektar (10,51%). Lahan kosong yang tercatat seluas 73,27 hektar (3,05%) merupakan indikasi bahwa sebagian wilayah telah mengalami konversi lahan, namun belum dimanfaatkan secara optimal. Badan air menempati porsi terkecil dari total wilayah, yaitu hanya 0,51 hektar atau sekitar 0,02%. Penurunan signifikan terhadap tutupan lahan alami seperti hutan dan pertanian jika dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya, mengonfirmasi tekanan urbanisasi yang semakin kuat terhadap ruang terbuka hijau dan fungsi ekologis kota. Hal ini menjadi perhatian penting dalam perencanaan tata ruang agar pembangunan yang pesat tetap memperhatikan keberlanjutan lingkungan dan daya dukung lahan Kota Bukittinggi.



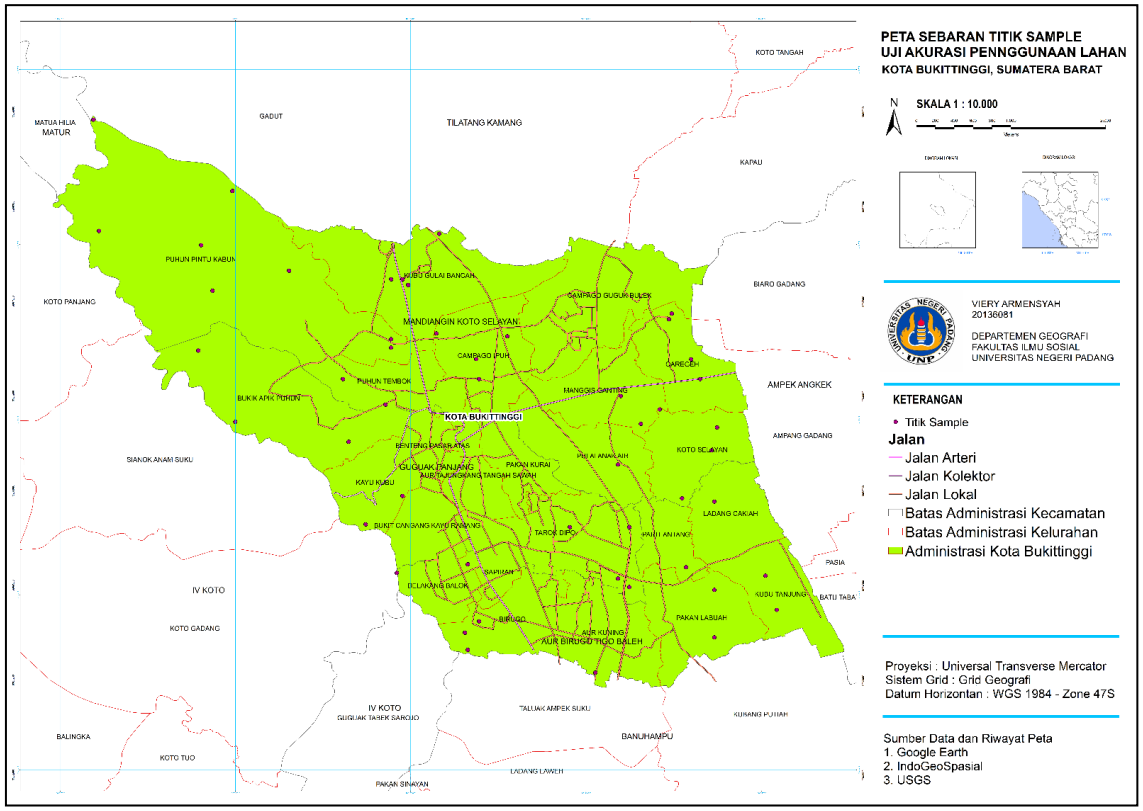
Gambar 3 Peta Penggunaan Lahan Tahun 2023

Pengambilan sampel untuk uji akurasi klasifikasi penggunaan lahan Kota Bukittinggi tahun 2023 dilakukan menggunakan purposive sampling berbasis sebaran spasial dengan bantuan perangkat lunak ArcGIS. Sebanyak 50 titik sampel ditentukan menggunakan tool *Create Random Points*, lalu diseleksi secara visual untuk mewakili lima kelas penggunaan lahan: area terbangun, badan air, hutan, lahan kosong, dan pertanian. Titik-titik tersebut tersebar merata di wilayah utara, tengah, dan selatan kota. Proses uji akurasi dilakukan melalui penyusunan Confusion Matrix, yang membandingkan hasil klasifikasi dengan data referensi lapangan. Beberapa indikator akurasi dihitung, yaitu Overall Accuracy, Producer's Accuracy, User's Accuracy, serta Kappa Coefficient sebagai indeks statistik kesesuaian klasifikasi. Hasil menunjukkan tingkat akurasi mencapai 85% dan nilai Kappa 0,92, sesuai dengan standar minimum akurasi menurut Jensen (2000). Hal ini menandakan bahwa hasil klasifikasi cukup andal untuk dijadikan dasar analisis spasial. Temuan ini mengindikasikan bahwa perubahan penggunaan lahan di Kota Bukittinggi mengikuti pola pembangunan yang sistemik, terutama di wilayah yang memiliki aksesibilitas tinggi, sehingga menegaskan pentingnya kebijakan tata ruang yang adaptif dan berbasis data spasial akurat untuk menjaga keseimbangan ekologis kota.

Tabel 4 Groundcheck Peta penggunaan/Penggunaan Lahan tahun 2023

Klasifikasi	Area Terbangun	Badan Air	Hutan	Lahan Kosong	Pertanian	Total	U_Accuracy	Kappa
Area Terbangun	34	0	0	0	0	34	1	
Badan Air	0	0	0	0	0	0	0	
Hutan	0	2	6	0	0	8	0,75	
Lahan Kosong	0	0	0	3	0	3	1	
Pertanian	0	0	0	0	5	5	1	
Total	34	2	6	3	5	50	0	
P_Accuracy	1	0	1	1	1	0	0,96	
Kappa								**0,92**

Sumber : Hasil olahan penelitian, 2025



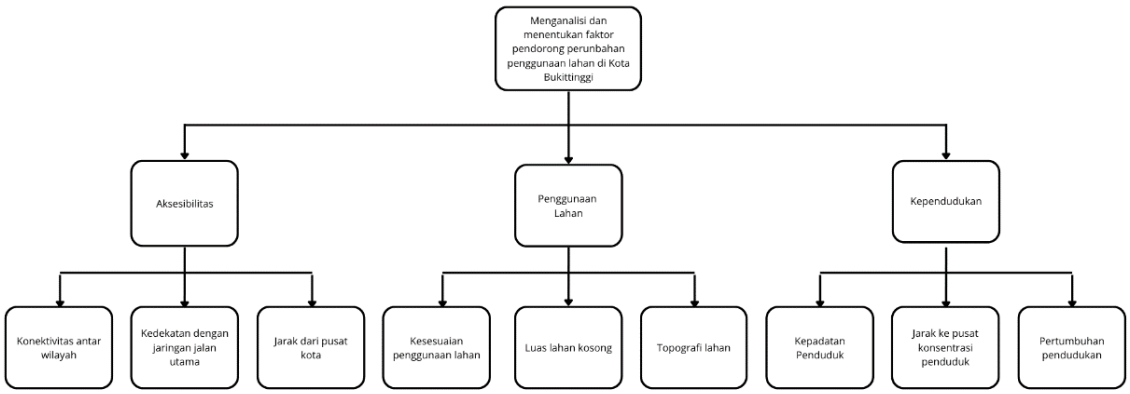
Gambar 4 Peta Titik Pengambilan Sampe Uji Akurasi

Secara keseluruhan, perubahan penggunaan lahan di Kota Bukittinggi selama periode 2017 hingga 2023 mencerminkan dinamika spasial yang dipengaruhi oleh laju urbanisasi. Berdasarkan hasil interpretasi citra dan analisis spasial, terjadi peningkatan signifikan pada kategori area terbangun, dari 1.590,36 hektar (65,80%) tahun 2017 menjadi 1.660,49 hektar

(68,72%) tahun 2023. Kenaikan ini menunjukkan perkembangan kebutuhan ruang untuk permukiman, infrastruktur, dan layanan kota. Sebaliknya, lahan hutan mengalami penurunan dari 472,71 hektar (19,56%) menjadi 428,13 hektar (17,71%), mengindikasikan konversi ruang terbuka hijau ke fungsi lain, yang dapat berdampak negatif terhadap penyimpanan karbon, regulasi air, dan keanekaragaman hayati. Lahan pertanian (sawah) juga menyusut dari 304,16 hektar (12,58%) menjadi 254,18 hektar (10,51%), menandakan alih fungsi lahan produktif ke sektor non-pertanian yang berpotensi menurunkan ketahanan pangan lokal. Lahan kosong justru mengalami kenaikan dari 45,39 hektar (1,88%) menjadi 73,27 hektar (3,05%), yang mungkin mencerminkan area transisi atau lahan yang belum dimanfaatkan secara optimal. Badan air juga mengalami penyusutan signifikan dari 4,05 hektar (0,17%) menjadi hanya 0,51 hektar (0,02%), yang meskipun kecil secara persentase, dapat menjadi indikator awal gangguan terhadap fungsi hidrologis kota. Secara keseluruhan, tren perubahan ini menunjukkan tekanan besar terhadap fungsi ekologis dan agraris wilayah, sehingga diperlukan kebijakan tata ruang berkelanjutan yang memperhatikan keseimbangan pembangunan dan kelestarian lingkungan.

2. Integrasi Celullar Automata Dan Analytical Hierarchy Process

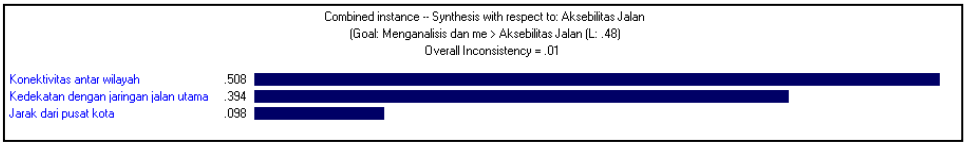
Perubahan penggunaan lahan merupakan aspek krusial dalam kajian tata ruang yang mencerminkan dinamika interaksi antara aktivitas manusia dan kondisi fisik lingkungan. Untuk mengidentifikasi faktor-faktor dominan yang mendorong perubahan tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan Analytical Hierarchy Process (AHP) sebagai metode analitis yang mampu mengakomodasi banyak variabel dengan tingkat kepentingan berbeda. Metode AHP digunakan untuk menyusun hierarki faktor-faktor pendorong berdasarkan tingkat prioritasnya melalui pembandingan berpasangan antar faktor yang dinilai oleh responden ahli.



Gambar 5 Hierarki Faktor Pendorong Perubahan Penggunaan Lahan

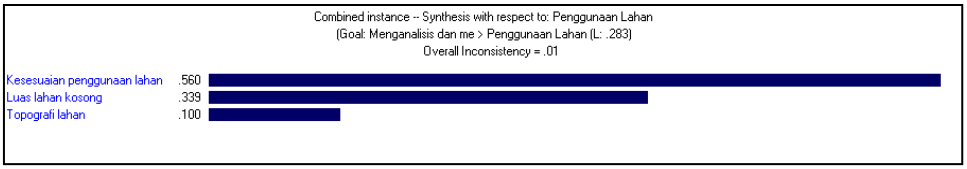
Penelitian ini menetapkan tiga kriteria utama yang merepresentasikan dimensi fisik, sosial-ekonomi, dan aksesibilitas sebagai dasar identifikasi faktor perubahan penggunaan lahan di Kota Bukittinggi periode 2017-2035, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 5 Hierarki Faktor Pendorong Perubahan Penggunaan Lahan. Hasil analisis menggunakan software Expert Choice menunjukkan nilai CI pada setiap kriteria <0,1, membuktikan konsistensi penilaian responden.

Berdasarkan analisis subkriteria, aksesibilitas memiliki prioritas tertinggi yaitu konektivitas antar wilayah dengan nilai 0,508 (Gambar 6 Diagram Sub-Kriteria Aksesibilitas Jalan), kriteria penggunaan lahan menunjukkan kesesuaian penggunaan lahan sebagai prioritas dengan nilai 0,560 (Gambar 7 Diagram Sub-Kriteria Penggunaan Lahan), dan kriteria kependudukan diprioritaskan pada kepadatan penduduk dengan nilai 0,582 (Gambar 8 Diagram Sub-Kriteria Kependudukan).



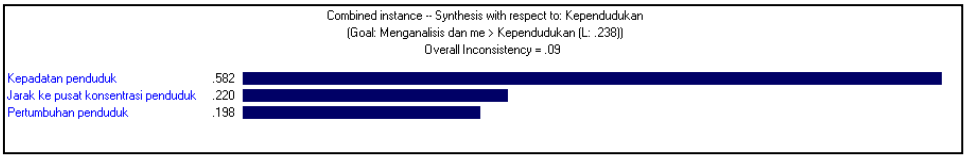
Gambar 1 Diagram SubKriteria Aksesibilitas Jalan sebagai Faktor Pendorong Perubahan Penggunaan Lahan

Sumber : Hasil olahan penelitian, 2025



Gambar 2 Diagram SubKriteria Penggunaan Lahan sebagai Faktor Pendorong Perubahan Penggunaan Lahan

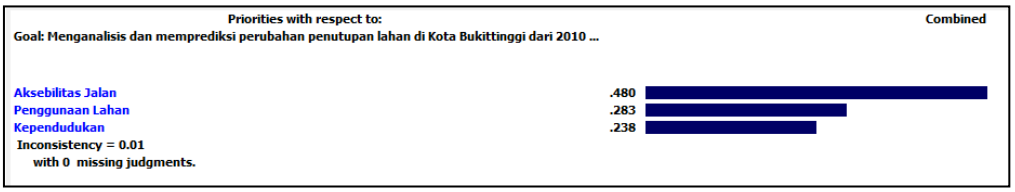
Sumber : Hasil olahan penelitian, 2025



Gambar 3 Diagram SubKriteria kependudukan sebagai Faktor Pendorong Perubahan Penggunaan Lahan

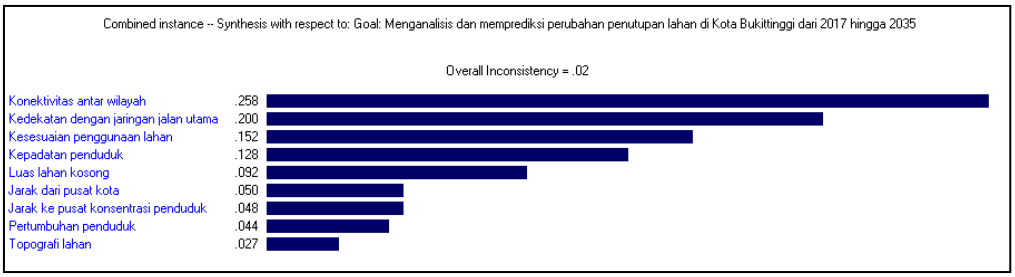
Sumber : Hasil olahan penelitian, 2025

Hasil penentuan subkriteria berdasarkan keseluruhan (Combined) menunjukkan kriteria aksesibilitas menjadi prioritas utama dengan nilai 0,480, diikuti penggunaan lahan (0,283), dan kependudukan (0,238), sebagaimana terlihat dalam Gambar 4.9 Nilai Konsistensi Faktor Pendorong Perubahan Tutupan dan Gambar 4.10 Prioritas Faktor Pendorong Perubahan Penggunaan Lahan. Faktor-faktor yang teridentifikasi meliputi konektivitas antar wilayah, kedekatan dengan jaringan jalan utama, kesesuaian penggunaan lahan, kepadatan penduduk, luas lahan kosong, jarak dari pusat kota, jarak ke pusat konsentrasi penduduk, pertumbuhan penduduk, dan topografi lahan.



Gambar 4 Nilai Konsistensi Faktor Pendorong Perubahan Tutupan

Sumber : Hasil olahan penelitian, 2025



Gambar 5 Prioritas Faktor Pendorong Perubahan Penggunaan Lahan

Sumber : Hasil olahan penelitian, 2025

Untuk implementasi dalam pemodelan prediksi spasial menggunakan metode CA-Markov, dilakukan seleksi dan operasionalisasi subkriteria yang memiliki keterkaitan spasial kuat. Konektivitas antar wilayah direpresentasikan melalui jarak terhadap jalan arteri, kolektor, dan lokal; kedekatan terhadap jaringan jalan utama difokuskan pada jarak terhadap jalan arteri; dan kesesuaian penggunaan lahan direpresentasikan melalui jarak terhadap area terbangun eksisting. Ketiga variabel ini diolah menjadi data raster Euclidean Distance dan dinormalisasi dalam skala 0-1 untuk digunakan dalam model prediktif CA-Markov, mempertahankan integrasi antara analisis konseptual AHP dan pemodelan spasial secara konsisten.

Prediksi perubahan penggunaan lahan tahun 2035 di Bukittinggi dilakukan dengan metode Cellular Automata–Markov (CA–Markov) melalui plugin MOLUSCE di QGIS, dengan memanfaatkan data tahun 2017 dan 2020 sebagai input utama. Proses pemodelan ini terdiri atas beberapa tahapan penting, yakni pembuatan peta probabilitas perubahan tutupan lahan, penyusunan matriks transisi area, dan integrasi faktor-faktor pendorong spasial. Untuk meningkatkan akurasi hasil prediksi, model ini diperkaya dengan variabel-variabel spasial yang ditentukan melalui analisis Analytical Hierarchy Process (AHP), meliputi jarak terhadap jalan arteri, jalan kolektor, jalan lokal, serta area terbangun eksisting. Variabel-variabel tersebut dianalisis menggunakan Euclidean Distance di ArcGIS, dinormalisasi, dan ditransformasikan ke dalam format raster agar dapat digunakan dalam pemodelan prediktif.

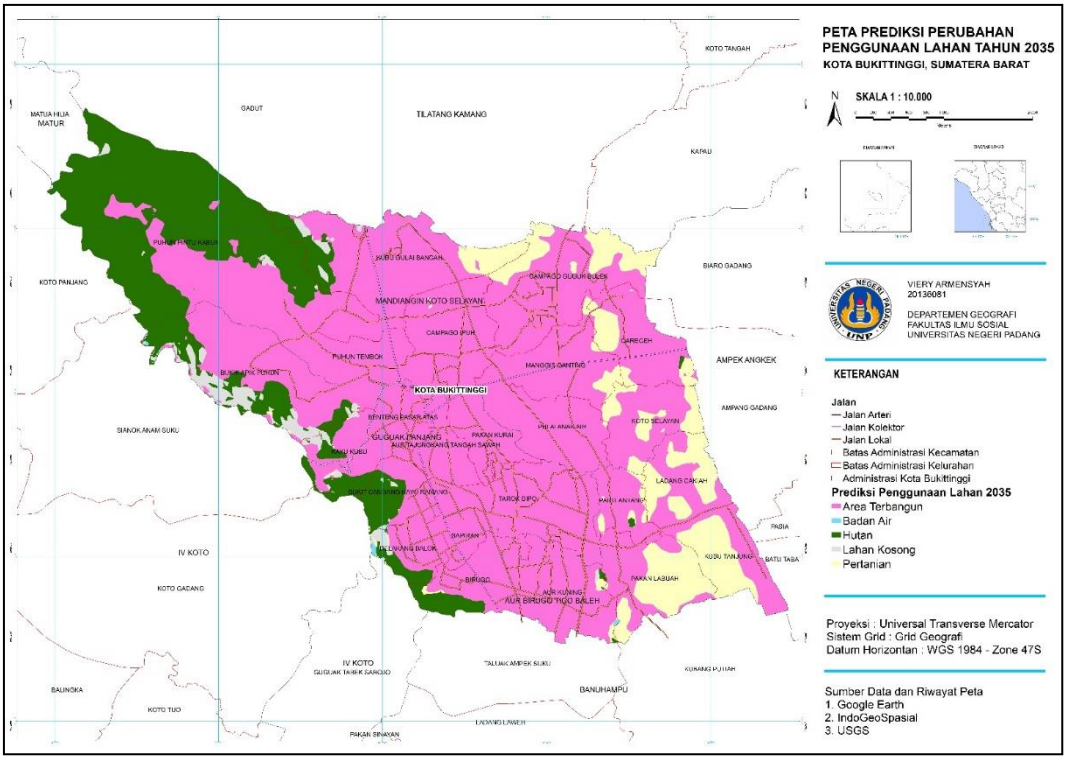
Pemodelan diawali dengan input data historis (2017 dan 2020) dan faktor pendorong seperti jarak terhadap jalan dan area terbangun. Untuk mengukur hubungan antar-variabel, dilakukan analisis korelasi menggunakan Pearson's correlation. Tahapan selanjutnya adalah analisis perubahan area (Area Change), yang menggambarkan perubahan luas tutupan lahan selama periode 2017–2020, serta pembuatan matriks transisi yang menunjukkan kemungkinan perubahan antar-kelas lahan. Nilai dalam matriks transisi bervariasi antara 0,01–0,99 (menunjukkan potensi perubahan) dan 0 atau 1 (menunjukkan tidak ada perubahan). Sebagai contoh, area terbangun memiliki probabilitas tetap sangat tinggi sebesar 0,999528, sedangkan hutan menunjukkan kemungkinan berubah menjadi lahan kosong atau pertanian dengan nilai transisi masing-masing sebesar 0,097800 dan 0,041565.

Integrasi antara data historis dan variabel pendorong menghasilkan peta probabilitas perubahan lahan dengan skala nilai antara 0–1, dari rendah hingga tinggi. Peta probabilitas ini menjadi dasar dalam pemodelan Transition Potential yang dilakukan dengan algoritma Artificial Neural Network (ANN), menggunakan parameter neighborhood 3 piksel, learning rate 0,100, maksimum iterasi 1000, hidden layer sebanyak 10, dan momentum sebesar 0,050. Hasil dari pemodelan menunjukkan akurasi overall sebesar 1,42388 dengan nilai validasi Kappa sebesar 0,42076, yang tergolong dalam kategori "moderate agreement." Meskipun terdapat indikasi overfitting, model tetap dinilai layak untuk digunakan dalam proyeksi spasial.

Setelah proses validasi dilakukan dengan hasil Kappa 0,94349 yang menunjukkan tingkat akurasi sangat baik, simulasi Cellular Automata berhasil menghasilkan prediksi penggunaan lahan tahun 2035. Berdasarkan hasil simulasi, area terbangun diprediksi

meningkat dari 1.660,49 hektare pada tahun 2023 menjadi 1.680,86 hektare pada tahun 2035, atau bertambah sebesar 20,37 hektare. Peningkatan ini sebagian besar merupakan hasil konversi dari lahan pertanian dan lahan kosong. Sementara itu, lahan pertanian mengalami penyusutan dari 254,18 hektare menjadi 251,99 hektare (berkurang 2,19 hektare), dan lahan kosong menurun drastis dari 73,27 hektare menjadi 41,83 hektare, yang mengindikasikan pemanfaatan lahan tersebut untuk pembangunan. Lahan hutan dan badan air justru mengalami sedikit peningkatan masing-masing menjadi 440,11 hektare dan 1,40 hektare, yang menunjukkan adanya indikasi konservasi dan rehabilitasi lingkungan.

Peta prediksi tahun 2035 menunjukkan bahwa ekspansi area terbangun terkonsentrasi di sekitar jaringan jalan dan permukiman eksisting, yang sejalan dengan pengaruh kuat variabel jarak dalam pemodelan. Penurunan luasan lahan pertanian dan lahan kosong mencerminkan tekanan pembangunan yang meningkat di wilayah peri-urban, sementara kenaikan kecil pada area hutan mungkin berkaitan dengan kebijakan penghijauan atau konservasi lahan. Namun, secara keseluruhan, tren urbanisasi tetap menjadi dominan dan menjadi tantangan dalam menjaga keberlanjutan lingkungan.



Gambar 11 Peta Prediksi Penggunaan Lahan Kota Bukittinggi tahun 2035

Dapat dilihat bahwa pemodelan prediktif berbasis CA–Markov mengkonfirmasi kecenderungan urbanisasi berkelanjutan di Kota Bukittinggi, dengan konsekuensi kebutuhan

mendesak untuk pengaturan zonasi yang lebih ketat. Fokus utama kebijakan tata ruang ke depan sebaiknya diarahkan pada upaya melindungi lahan pertanian yang tersisa serta mengoptimalkan pemanfaatan lahan kosong untuk pembangunan yang berkelanjutan. Akurasi model yang tinggi dengan nilai Kappa di atas 0,9 mendukung keandalan hasil prediksi, meskipun perlu diingat bahwa dinamika sosial-ekonomi yang tidak tercakup dalam pemodelan tetap harus diperhatikan dalam perumusan dan implementasi kebijakan tata ruang secara menyeluruh.

PEMBAHASAN

Analisis spasial menunjukkan perubahan penggunaan lahan yang signifikan di Kota Bukittinggi periode 2017-2023 dengan kecenderungan urbanisasi yang terus berlanjut. Area terbangun mengalami peningkatan dari 1.590,36 hektare (65,80%) pada tahun 2017 menjadi 1.660,49 hektare (68,72%) pada tahun 2023, menunjukkan penambahan seluas 70,13 hektare atau meningkat sebesar 4,41%. Transformasi ini berdampak langsung pada berkurangnya tutupan vegetasi alami, dimana kawasan hutan mengalami penyusutan dari 472,71 hektare (19,56%) menjadi 428,13 hektare (17,71%), atau berkurang 44,58 hektare (9,43%). Lahan pertanian juga mengalami penurunan signifikan dari 304,16 hektare (12,58%) menjadi 254,18 hektare (10,51%), menyusut 49,98 hektare atau sekitar 16,43%. Sebaliknya, lahan kosong justru mengalami peningkatan dari 45,39 hektare (1,88%) menjadi 73,27 hektare (3,05%), bertambah 27,88 hektare atau naik 61,45%.

Prediksi perubahan penggunaan lahan menggunakan metode Cellular Automata-Markov (CA-Markov) dengan nilai Kappa sebesar 0,94349 menunjukkan dinamika yang relatif moderat namun konsisten hingga tahun 2035. Hasil proyeksi menunjukkan area terbangun mengalami ekspansi dari 1.660,49 hektare menjadi 1.680,86 hektare, meningkat 20,37 hektare atau sekitar 1,23% dengan probabilitas bertahan mencapai 99,95%. Lahan pertanian menunjukkan penurunan dari 254,18 hektare menjadi 251,99 hektare, menyusut 2,19 hektare (0,86%) dengan probabilitas bertahan hanya 61,38%, menandakan kerentanan tinggi terhadap alih fungsi lahan. Lahan kosong mengalami penyusutan signifikan dari 73,27 hektare menjadi 41,83 hektare, berkurang 31,44 hektare atau sekitar 42,90% meskipun probabilitas bertahan tergolong tinggi (90,56%).

Menariknya, kawasan hutan justru mengalami peningkatan dari 428,13 hektare menjadi 440,11 hektare, bertambah 11,98 hektare (2,80%), yang dapat dikaitkan dengan

keberhasilan program reboisasi atau kebijakan konservasi. Badan air tercatat mengalami kenaikan dari 0,51 hektare menjadi 1,40 hektare, bertambah 0,89 hektare (174,51%). Secara keseluruhan, prediksi menunjukkan Kota Bukittinggi memasuki fase konsolidasi pembangunan dengan laju ekspansi kawasan terbangun yang mulai melambat, namun kecenderungan alih fungsi lahan pertanian tetap menjadi isu penting yang perlu dikendalikan strategis melalui kebijakan perlindungan lahan seperti Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan (LP2B).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pemodelan, perubahan penutup lahan di Kota Bukittinggi tahun 2017–2023 menunjukkan tren urbanisasi yang meningkat, ditandai dengan perluasan area terbangun di sekitar jaringan jalan utama dan pusat kota, serta penurunan lahan pertanian dan hutan akibat konversi untuk pembangunan. Melalui pendekatan AHP, diketahui bahwa aksesibilitas, kedekatan dengan jalan utama, dan kesesuaian penggunaan lahan merupakan faktor paling berpengaruh terhadap perubahan tersebut. Faktor-faktor ini diolah secara spasial menggunakan Euclidean Distance dan dinormalisasi agar dapat digunakan dalam pemodelan CA–Markov. Hasil prediksi tahun 2035 menunjukkan area terbangun meningkat 20,37 ha (1,23%), sementara lahan pertanian turun 2,19 ha (0,86%) dan lahan kosong menyusut drastis 31,44 ha (42,90%). Sebaliknya, kawasan hutan dan badan air mengalami sedikit peningkatan. Model ini menunjukkan akurasi tinggi dengan nilai Kappa 0,94349, mengindikasikan hasil prediksi yang andal. Perubahan terbesar terjadi pada lahan kosong yang menjadi zona transisi utama, sedangkan pertumbuhan area terbangun mulai melambat. Temuan ini menekankan pentingnya pengendalian alih fungsi lahan dan perlindungan terhadap kawasan pertanian dalam perencanaan tata ruang yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Ari, R. (2022.). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan di Kota Bandar Lampung Menggunakan Model CA. *Jurnal Geografi Indonesia*, *33*(2), 1–15.

Ardiansyah, Y., Putra, A., & Fadhil, M. (n.d.). Penggunaan Model *Cellular Automata* dan *Analytical Hierarchy Process* dalam Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan di Kota Bukittinggi. *Jurnal Geografi Indonesia*, *37*(1), 1–15.

Armaita, D., H., E., B., I., D., & Iswandi, U. (n.d.). Policy Model of Community Adaptation using AHP in the Malaria Endemic Region of Lahat Regency Indonesia. *International Journal of Management and Humanities*,), 44–48.

Asman, A., Barlian, E., Hermon, D., Dewata, I., & Umar, I. (n.d.). Mitigation and adaptation of community using AHP in earthquake disasterprone areas in Pagar Alam CityIndonesia. *International Journal of Management and Humanities (IJMH*, *4*(9), 34–38.

Bukittinggi, B. P. S. K. (2022.). *Bukittinggi dalam Angka 2021*. Badan Pusat Statistik.

Bukittinggi, B. P. S. K. (2023.). *Bukittinggi dalam Angka 2022*. Badan Pusat Statistik.

Balle, S., & Samuel, T. (n.d.). Tutup8an Lahan dan Penggunaan Lahan: Konsep dan Definisi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *5*(2), 1–10.

Budi, W. (2020.). Pengembangan Model Prediksi Penggunaan Lahan Menggunakan CA dan AHP. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, *7*(2), 1–12.

Dian, P. (2021.). Penggunaan Teknologi Penginderaan Jauh dalam Pemantauan Penggunaan Lahan. *Jurnal Sistem Informasi Geografis*, *8*(1), 1–20.

Dwi, A. (2022). Penggunaan Lahan dan Penggunaan Lahan: Analisis dan Kajian di Kota Malang. *Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan*, *7*(1), 1–15.

Eka, H. (2022). Penggunaan Lahan dan Penggunaan Lahan: Analisis dan Kajian di Kota Semarang. *Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan*, *5*(1), 1–15.

Fajar, T. (2022.). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan di Kota Surabaya Menggunakan Model CA. *Jurnal Geografi Indonesia*, *35*(2), 1–15.

Liu, Y., & Phinn, S. (2024). Modelling Urban Development with *Cellular Automata* Incorporating Fuzzyset Approaches. *Computers, Environment and Urban Systems*, *27*(6), 637–658.

Lutfi, F. (2020). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan di Kota Surabaya Menggunakan Model CA. *Jurnal Geografi Indonesia*, *32*(1), 1–15.

Prahasta, E. (2002). *KonsepKonsep Dasar Sistem Informasi Geografis*. Informatika.

Purwantoro, A., & Hadi, S. (n.d.). Penggunaan Lahan dan Penggunaan Lahan: Analisis dan Kajian. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *4*(1), 1–10.

Purnomo, E., & Wijayanti, R. (n.d.). Pengaruh Perubahan Lahan terhadap Ketahanan Pangan dan Tata Ruang. *Jurnal Perencanaan Dan Pengembangan Wilayah*, *14*(1), 21–33.

Rina, S. (n.d.). Penggunaan Teknologi Penginderaan Jauh dalam Pemantauan Penggunaan Lahan. *Jurnal Sistem Informasi Geografis*, *10*(1), 1–20.

Rizky, D. (n.d.). Pengembangan Model Prediksi Penggunaan Lahan Menggunakan CA dan AHP. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, *9*(2), 1–12.

Riyadi, S., & Bratakusumah, A. (2019.). Dampak Lingkungan dan Sosial dari Perubahan Lahan di Wilayah Perkotaan. *Jurnal Perencanaan Wilayah*, *22*(4), 56–68.

Rudi, M. (2017.). Pengembangan Model Prediksi Penggunaan Lahan Menggunakan CA dan AHP. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, *6*(1), 1–12.

Rudi, M. (2020.). Pengembangan Model Prediksi Penggunaan Lahan Menggunakan CA dan AHP. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, *8*(1), 1–12.

Saaty, T. L. (2018). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGrawHill.

Sakinah, L. (2019). Proses Perubahan Lahan di Indonesia. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, *11*(3), 15–27.

Sampurno, D., & Thoriq, I. (2022). Penggunaan Lahan dan Penggunaan Lahan: Konsep dan Definisi. *Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan*, *7*(2), 1–15.

Setiawan, Y. (2024). *Analisis Spasial dengan Sistem Informasi Geografis*. IPB Press.

Suryanto, S., & Winata, I. (n.d.). *Penginderaan Jauh: Konsep dan Aplikasi*. Penerbit Andi.

Tarigan, S., & Yunus, M. (n.d.). Penggunaan Teknologi Penginderaan Jauh dalam Pemantauan Penggunaan Lahan. *Jurnal Sistem Informasi Geografis*, *7*(1), 1–20.