Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2776-771X (Online)
ISSN 2962-570X (Printed)
6 (2) 2026, Page: 33377-33389

Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan dengan Integrasi *Cellular-Automata* dan *Analytical Hierarchy Process* di Nagari Paru, Kabupaten Sijunjung

Qoori Nadhilah[1], Hendry Frananda[2]
[1 2] Departemen Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Padang
Corresponding Author: Name, Nadhilah, e-mail: qoorinadhilah225@gmail.com

Published: Juni, 2026

ABSTRACT

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola dan dinamika perubahan penggunaan lahan di Nagari Paru, Kabupaten Sijunjung, selama periode 2016-2024, serta memproyeksikan tren perubahannya hingga tahun 2040. Pendekatan yang digunakan mengintegrasikan metode *Cellular-Automata* (CA) dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) guna menghasilkan model prediksi yang komprehensif dengan mempertimbangkan faktor-faktor pendorong perubahan lahan. Analisis spasiotemporal dilakukan melalui pemanfaatan citra satelit Sentinel-2A yang diolah dengan teknik klasifikasi terbimbing (*supervised classification*). Hasil penelitian menunjukkan terjadinya penurunan signifikan pada penggunaan lahan di kelas hutan, dari 94,65% pada tahun 2016 menjadi 89,46% pada tahun 2024. Sebaliknya, luas lahan pertanian dan perkebunan mengalami peningkatan dari 4,54% menjadi 9,61%, disertai pertumbuhan bertahap pada area terbangun. Berdasarkan analisis AHP, faktor aksesibilitas, khususnya kedekatan terhadap jaringan jalan utama, menjadi kriteria utama dalam mendorong perubahan penggunaan lahan. Di sisi lain, kearifan lokal melalui sistem *Rimbo Larangan* serta karakteristik fisik bentang alam karst berperan sebagai faktor pengendali yang membatasi ekspansi pemanfaatan lahan. Hasil simulasi hingga tahun 2040 mengindikasikan keberlanjutan tren alih fungsi lahan, dengan proyeksi penurunan luas hutan menjadi 85,85% dan peningkatan lahan pertanian hingga 13,02%. Model yang dikembangkan menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi dengan nilai indeks *Kappa* sebesar 0,92. Dengan demikian, temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam perencanaan tata ruang desa yang lebih adaptif, guna menjaga keseimbangan antara pembangunan serta keberlanjutan lingkungan di Nagari Paru.

Keywords: *Cellular-Automata; Analytical Hierarchy Process*; Sentinel-2A; Nagari Paru, Spasiotemporal.

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

Perubahan penggunaan lahan dengan skala besar menjadi fenomena global yang terjadi secara masif di beberapa tahun terakhir seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan ruang untuk aktivitas manusia (Falah *et al.,* 2021). Pola perubahan yang paling dominan adalah konversi lahan bervegetasi, menjadi lahan non-vegetasi, yang berdampak serius terhadap lingkungan karena berkontribusi langsung terhadap degradasi lahan (Sela *et al.,* 2023). Secara umum, perubahan penggunaan lahan dipengaruhi oleh faktor internal seperti pertumbuhan rumah tangga, perubahan potensi lahan, serta pihak yang terlibat dalam pemanfaatan ruang, sementara faktor eksternal meliputi pertumbuhan penduduk, pergeseran struktur ekonomi, serta ekspansi area terbangun (Sarastika *et al.,* 2023). Kawasan hutan menjadi salah satu area yang paling rentan terhadap tekanan pemanfaatan ruang, keberadaan hutan sejatinya berperan penting dalam menopang sistem ekologis, sosial, dan ekonomi masyarakat, namun dalam praktiknya kawasan hutan terus mengalami degradasi akibat deforestasi (Fahri & Frananda, 2025). Deforestasi di Indonesia tidak hanya disebabkan oleh kebutuhan ekonomi formal, tetapi juga ditekan oleh adanya aktivitas ilegal yang sulit dikendalikan. Provinsi Sumatera Barat merupakan salah satu wilayah yang memiliki tutupan hutan yang luas mencapai 221.191,77 hektar,

namun menghadapi tekanan signifikan terhadap kelestariannya. Kabupaten Sijunjung tercatat sebagai salah satu kabupaten di

Sumatera Barat, yang mengalami tingkat kerusakan hutan yang tinggi (Putra, 2023). Berdasarkan analisis citra satelit Sentinel-2 yang dilakukan oleh Komunitas Konservasi Indonesia (KKI) Warsi, Kabupaten Sijunjung kehilangan tutupan hutan seluas 1.103 hektar pada tahun 2021 dan mencapai 1.174 hektar pada tahun 2022 (Sonia, 2022), yang menunjukkan bahwa kerusakan hutan di wilayah ini terus berlangsung dan meningkat dari tahun ke tahun. Di tengah tekanan akan lahan dan hutan di Kabupaten Sijunjung, terdapat satu nagari yang menerapkan mekanisme pengelolaan hutan berbasis kearifan lokal yaitu Nagari Paru melalui praktik *Rimbo Larangan*. Merupakan kawasan hutan yang dilindungi berdasarkan hukum adat untuk mencegah eksploitasi terhadap sumber daya alam, dengan total luas mencapai 4.500 hektar (Azzahra *et al.,* 2023). Kawasan ini telah ditetapkan melalui Peraturan Nagari Paru No. 1 Tahun 2002 dan diakui secara formal sebagai Hutan Nagari melalui SK Menteri Kehutanan pada SK.507/Menhut-II/2014 (Yeny *et al.,* 2021) sehingga memiliki basis area dan dapat dipetakan. Meskipun secara normatif *Rimbo Larangan* telah dilindungi oleh hukum adat dan hukum formal, kondisi empiris menunjukkan bahwa tekanan terhadap kawasan ini masih terus terjadi (Yeny *et al.,* 2021). Selain itu, wilayah Nagari Paru juga didominasi oleh bentang lahan karst dengan litologi batu gamping yang tergolong rentan terhadap perubahan penggunaan lahan (Putra Ulni, 2017).

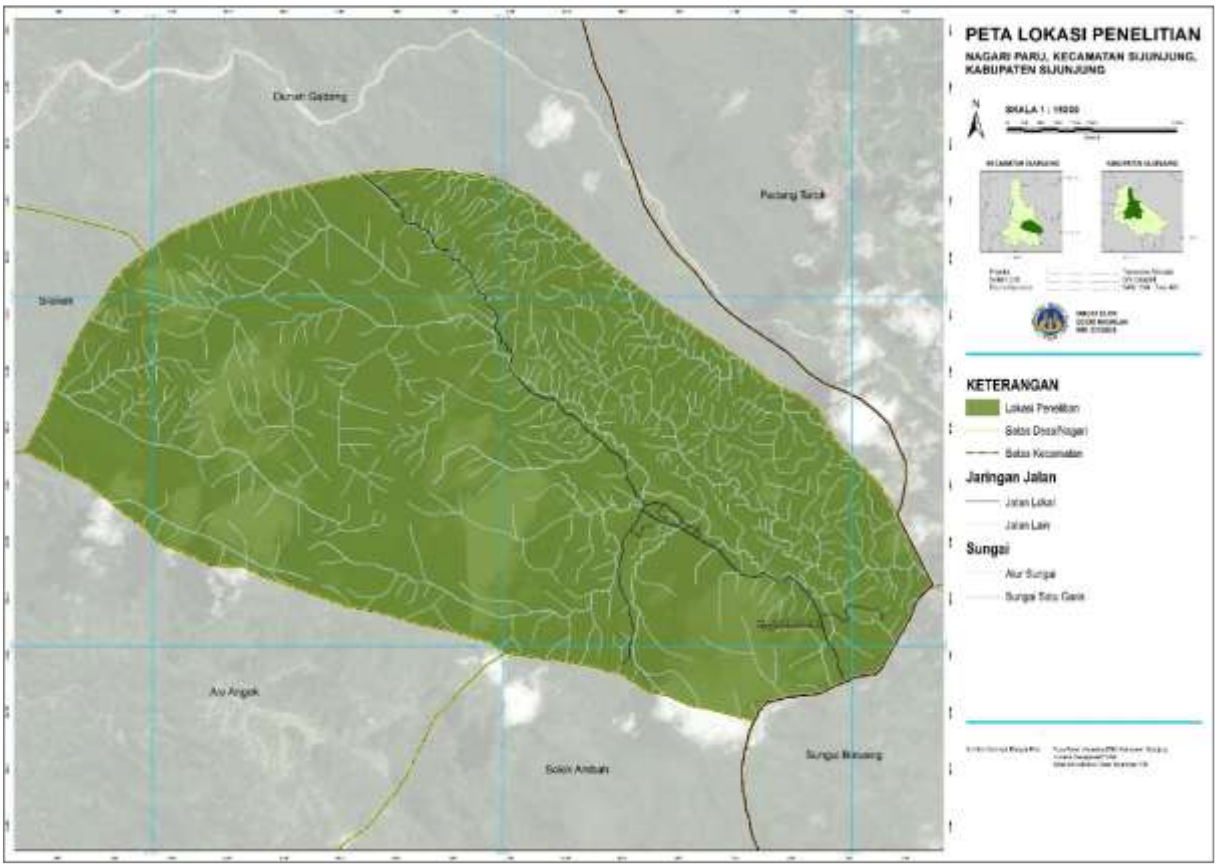
Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis efektif dalam mengidentifikasi wilayah rawan kerusakan hutan dan perubahan penggunaan lahan (Fahmi *et al.,* 2023). Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah *Cellular Automata* (CA), karena mampu merepresentasikan dinamika spasial berbasis sel dan aturan transisi (Achmadi *et al.,* 2023; Somae *et al.,* 2023). Namun, CA memiliki keterbatasan karena bersifat mekanis dan bergantung pada aturan yang ditetapkan, sehingga kurang mampu merepresentasikan tingkat kepentingan relatif antar faktor (Bozdağ *et al.,* 2025; Armensyah & Iswandi, 2025).Di sisi lain, *Analytical Hierarchy Process* (AHP) merupakan metode multikriteria yang mampu menentukan bobot kepentingan setiap faktor secara sistematis melalui perbandingan berpasangan (Saaty & Vargas, 2012). Oleh karena itu, integrasi CA dan AHP menjadi pendekatan yang komprehensif. Meskipun telah banyak diterapkan, model yang mengintegrasikan kearifan lokal pada tingkat nagari masih terbatas. Penelitian ini menghadirkan kebaruan melalui integrasi CA-AHP dalam analisis perubahan penggunaan lahan multitemporal di Nagari Paru.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif berbasis analisis spasial untuk pemodelan perubahan penggunaan lahan. Tahapan penelitian meliputi persiapan, pra-pengolahan data, klasifikasi penggunaan lahan, pemodelan, dan analisis. Pra-pengolahan data mencakup komposit citra, clipping, dan reproyeksi. Klasifikasi penggunaan lahan dilakukan dengan metode *supervised classification*. Selanjutnya, pemodelan dilakukan dengan pendekatan *Cellular-Automata* (CA) yang diintegrasikan dengan *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Februari-Mei 2026 di Nagari Paru, Kecamatan Sijunjung, Kabupaten Sijunjung, Provinsi Sumatera Barat. Secara geografis, berada pada 0°38'32" Lintang Selatan dan 101°07'37" Bujur Timur.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Teknik Pengolahan dan Analisis Data

Pre-Processing Data

Citra Sentinel-2A diolah melalui komposit band (Band 4, 3, 2) untuk menghasilkan citra *true color*. Seluruh data kemudian dilakukan *clipping* sesuai wilayah penelitian dan direproyeksi ke sistem koordinat yang sama. Faktor pendorong berupa jaringan jalan, permukiman, *Rimbo Larangan*, dan batuan karst dianalisis menggunakan *Euclidean Distance*.

Klasifikasi Penggunaan Lahan

Klasifikasi dilakukan secara multitemporal dengan rentang 2016, 2020 dan 2024 menggunakan integrasi OBIA (*Object Based Image Analysis*) dan *supervised classification* dengan *training* area sebagai acuan. Klasifikasi mengacu pada SNI 7645-1:2014 tentang penutup lahan oleh Badan Standardisasi Nasional. Penentuan jumlah sampel dilakukan menggunakan rumus Cochran untuk memperoleh ukuran sampel minimum yang mewakili populasi secara statistik dengan asumsi distribusi normal (Cochran, 1977). Penelitian ini menggunakan tingkat kepercayaan 85% dengan nilai Z sebesar 1,64 berdasarkan tabel distribusi normal baku (Walpole dalam Ahadi & Zain, 2023), dengan rumus (1) sebagai berikut:

$$n = (Z^2 \cdot p \cdot q) / e^2 \quad (1)$$

Keterangan:

n : jumlah sampel minimum

Z : nilai baku distribusi normal

p : proporsi ketelitian yang diharapkan

q : 1 − p

e : tingkat kesalahan yang dapat diterima

Uji Akurasi

Hasil klasifikasi penggunaan lahan diuji menggunakan confusion matrix dan indeks *Kappa*. Confusion matrix digunakan untuk menilai akurasi klasifikasi dengan target >85% (Lillesand dalam Purboyo *et al.,* 2024), sedangkan indeks *Kappa* digunakan untuk mengukur tingkat kesesuaian hasil klasifikasi secara keseluruhan berdasarkan nilai *overall accuracy*, dengan rumus sebagai berikut:

$$\textit{Overall accuracy} = \frac{\text{Jumlah Data Sesuai}}{\text{Jumlah Total Sampel}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\textit{Producer Accuracy} = \frac{\text{Total Jumlah yang diklasifikasikan dengan benar}}{\text{Jumlah total sampel (Kolom)}} \quad (3)$$

$$\textit{Users Accuracy} = \frac{\text{Total jumlah kesalahan klasifikasi}}{\text{Jumlah total sampel (Baris)}} \times 100\% \quad (4)$$

$$\textit{Kappa} = \frac{\text{N X}\sum_{k}^{i}\text{ Nilai data benar X }\sum_{k}^{i}\text{(Baris x Kolom)}}{\text{N2}-\sum_{k}^{i}\text{ (Baris x Kolom)}} \quad (5)$$

Penentuan Bobot Kriteria dengan Analytical Hierarchy Process

Penentuan kriteria dan subkriteria dilakukan berdasarkan studi literatur dan analisis kondisi wilayah. Faktor yang digunakan terdiri atas faktor pendorong dan pembatas perubahan penggunaan lahan. Penentuan kriteria dan subkriteria dilakukan berdasarkan studi literatur dan analisis kondisi wilayah. Faktor yang digunakan terdiri atas faktor pendorong dan pembatas perubahan penggunaan lahan.

Tabel 1. Penentuan Kriteria AHP

Faktor yang Mempengaruhi Perubahan Penggunaan Lahan di Nagari Paru			
Faktor Pendorong		Faktor Pembatas	
Aksesibilitas *(Hadiwibowo et al., 2024; Monsaputra, 2023)*	Area Terbangun (Arrafi & Salma, 2025; Hadiwibowo *et al.,* 2024; Pradana *et al.,* 2024)	Kearifan Lokal (Afrianti, 2020; Rakhman & Lega, 2023; Yaqin *et al.,* 2024)	Bentang Alam Karst Yu *et al.,* 2022; Zhang *et al.,* 2023)

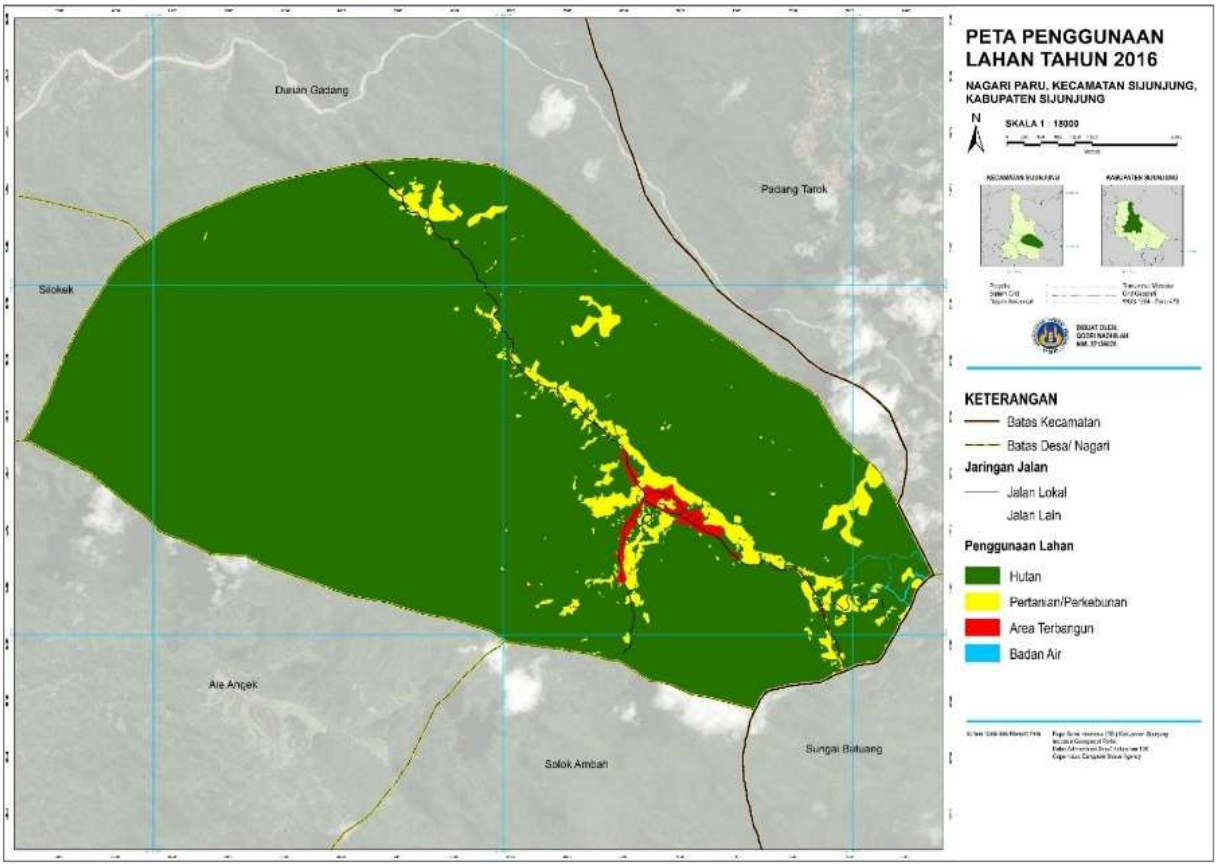
Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan

Pemodelan perubahan penggunaan lahan dilakukan menggunakan metode *Cellular Automata* (CA) dengan data tahun 2016 dan 2020 untuk mensimulasikan kondisi tahun 2024 sebagai tahap validasi. Validasi model dilakukan menggunakan indeks *Kappa*, dengan nilai ≥ 0,60 menunjukkan model layak digunakan. Setelah tervalidasi, prediksi penggunaan lahan tahun 2040 dilakukan melalui integrasi CA dan AHP berdasarkan faktor pendorong berbobot. Pemodelan diimplementasikan menggunakan integrasi *Cellular Automata* (CA) dan *Artificial Neural Networks (*ANN) pada plugin MOLUSCE.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola dan Dinamika Perubahan Penggunaan Lahan Tahun 2016-2020-2024

Berdasarkan hasil klasifikasi citra Sentinel-2A menggunakan metode *Object Based Image Analysis* (OBIA) dan *supervised classification*, diketahui bahwa Nagari Paru mengalami dinamika pemanfaatan ruang yang cukup signifikan dari waktu ke waktu. Perubahan tersebut ditunjukkan oleh adanya pergeseran beberapa kelas penggunaan lahan, terutama pada kawasan hutan yang mengalami penurunan luasan serta meningkatnya lahan pertanian, perkebunan, dan area terbangun. Dinamika ini mencerminkan adanya pengaruh aktivitas masyarakat dan perkembangan wilayah terhadap pola penggunaan lahan di Nagari Paru.



Gambar 2. Peta Penggunaan Lahan Tahun 2016 di Nagari Paru

Pada periode awal, kawasan hutan mendominasi dengan luas 8.936,35 Ha atau 94,65%. Aktivitas manusia masih terbatas dan terkonsentrasi pada lahan pertanian dan perkebunan seluas 428,54 Ha 4,54%. Area terbangun relatif kecil, yaitu 69,50 Ha atau 0,74%, sedangkan badan air memiliki luas sekitar 7,46 Ha atau 0,08% dari total wilayah penelitian.

Tabel 2. Kelas Penggunaan Lahan Nagari Paru 2016

No	Penggunaan Lahan Tahun	Luas (Ha)	Persen (%)
1	Hutan	8936,35	94,65
2	Pertanian dan Perkebunan	428,54	4,54
3	Area Terbangun	69,50	0,74
4	Badan Air	7,46	0,08
	Total	9441,85	100

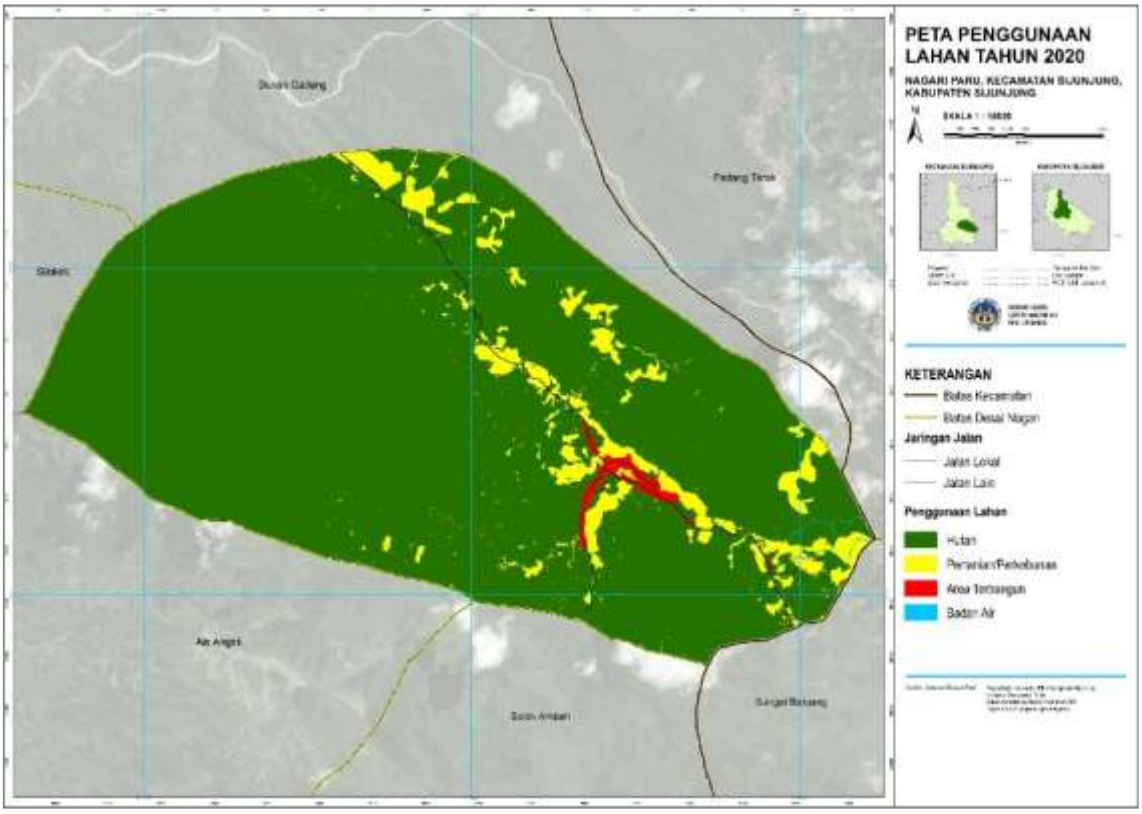
Sumber: Data Diolah (2026)

Memasuki tahun 2020, tutupan hutan mengalami penurunan menjadi 8.738,70 Ha atau 92,55%. Penurunan ini sejalan dengan meningkatnya lahan pertanian dan perkebunan menjadi 621,46 Ha atau 6,58% serta pertumbuhan area terbangun menjadi 76,78 Ha atau 0,81%.

Tabel 3. Kelas Penggunaan Lahan Nagari Paru 2020

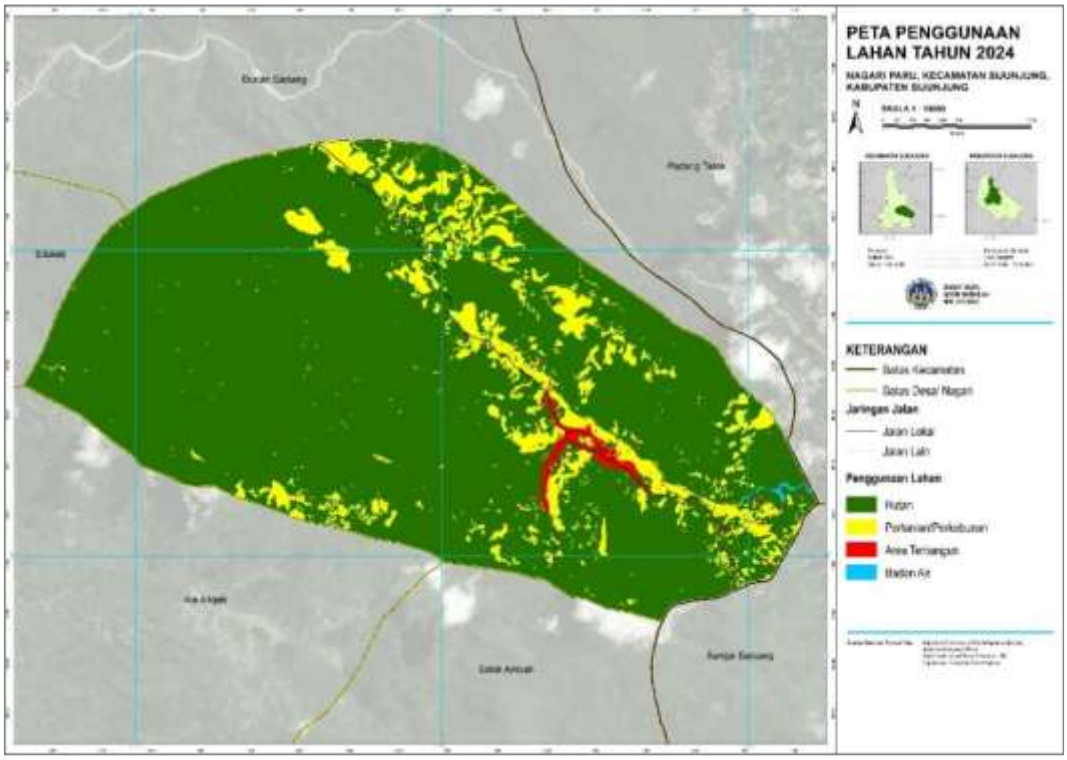
No	Penggunaan Lahan Tahun	Luas (Ha)	Persen (%)
1	Hutan	8738,70	92,55
2	Pertanian dan Perkebunan	621,46	6,58
3	Area Terbangun	76,78	0,81
4	Badan Air	4,94	0,05
	Total	9441,85	100

Sumber: Data Diolah (2026)



Gambar 3. Peta Penggunaan Lahan Tahun 2020 di Nagari Paru

Tren perubahan penggunaan lahan hingga tahun 2024 menunjukkan penurunan luas hutan menjadi 89,46% akibat meningkatnya aktivitas pembukaan lahan. Sebaliknya, lahan pertanian dan perkebunan meningkat menjadi 9,61% seiring berkembangnya pemanfaatan lahan oleh masyarakat. Area terbangun juga mengalami peningkatan menjadi 0,98% yang dipengaruhi oleh perkembangan permukiman dan infrastruktur. Sementara itu, badan air relatif stabil dengan sedikit peningkatan, yang menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan lebih dominan terjadi pada kawasan hutan dan pertanian.



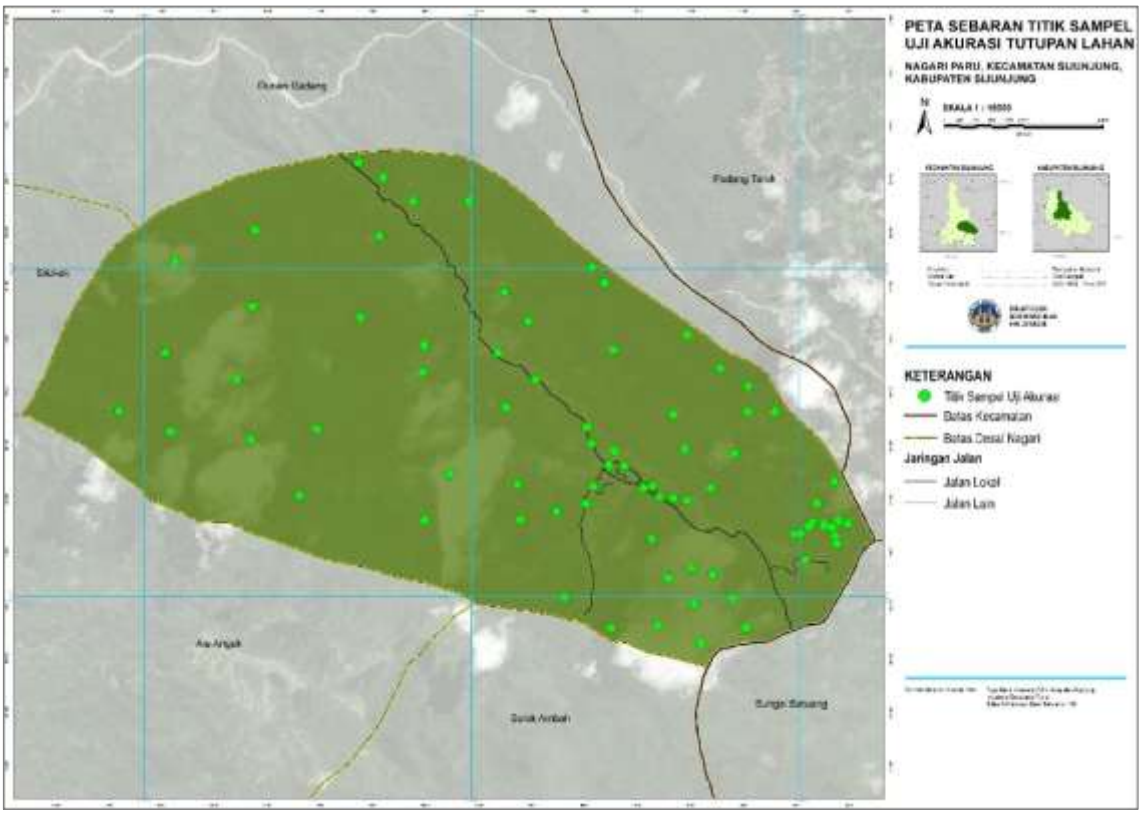
Gambar 4. Peta Penggunaan Lahan Tahun 2024 di Nagari Paru

Tabel 4. Peta Penggunaan Lahan Tahun 2024 di Nagari Paru

No	Penggunaan Lahan Tahun	Luas (Ha)	Persen (%)
1	Hutan	8446,53	89,46
2	Pertanian dan Perkebunan	907,72	9,61
3	Area Terbangun	92,44	0,98
4	Badan Air	6,33	0,07
	Total	9441,85	100

Sumber: Data Diolah (2026)

Uji akurasi klasifikasi penggunaan lahan tahun 2016, 2020, dan 2024 dilakukan menggunakan metode *stratified random sampling* dengan bantuan ArcGIS, sehingga setiap kelas penggunaan lahan terwakili secara proporsional. Sampel yang digunakan sebanyak 76 titik yang tersebar di seluruh wilayah penelitian sebagai data referensi.



Gambar 5. Peta Sebaran Titik Uji Akurasi Kelas Penggunaan Lahan

Evaluasi akurasi dilakukan menggunakan *confusion matrix* (*error matrix*) untuk mem*band*ingkan hasil klasifikasi dengan data referensi. Indikator yang digunakan meliputi *Overall accuracy*, *Producer's Accuracy, User's Accuracy*, serta *Kappa Coefficient* untuk menilai tingkat kesesuaian secara keseluruhan.

Tabel 5. *Confusion matrix* Kelas Penggunaan Lahan Tahun 2016

No	Kelas Penggunaan Lahan	Area Terbangun	Pertanian & Perkebunan	Hutan	Badan Air	Total	*User's Accuracy*
1	Area Terbangun	8	1	1	0	10	0,8
2	Pertanian & Perkebunan	0	9	1	0	10	0,90
3	Hutan	0	1	45	0	46	0,98
4	Badan Air	0	1	0	9	10	0,9
	Total	11	8	12	47	9	76
	Producer's Accuracy	0,91	1	0,75	0,96	1,00	
			Overall accuracy				93,42%
			Kappa Coefficient				0,885

Sumber: Data Diolah (2026)

Tabel 6. *Confusion matrix* Kelas Penggunaan Lahan Tahun 2020

No	Kelas Penggunaan Lahan	Area Terbangun	Pertanian & Perkebunan	Hutan	Badan Air	Total	*User's Accuracy*
1	Area Terbangun	9	1	0	0	10	0,9
2	Pertanian & Perkebunan	0	8	2	0	10	0,80
3	Hutan	1	1	44	0	46	0,96
4	Badan Air	0	1	1	8	10	0,8
	Total	10	11	47	8	76	10
	Producer's Accuracy	0,9	0,73	0,94	1,00		0,9
			Overall accuracy				90,79%
			Kappa Coefficient				0,84

Sumber: Data Diolah (2026)

Tabel 7. *Confusion matrix* Kelas Penggunaan Lahan Tahun 2024

No	Kelas Penggunaan Lahan	Area Terbangun	Pertanian & Perkebunan	Hutan	Badan Air	Total	*User's Accuracy*
1	Area Terbangun	10	0	0	0	10	1,0
2	Pertanian & Perkebunan	1	7	2	0	10	0,7
3	Hutan	0	0	46	0	46	1,0
4	Badan Air	0	1	2	7	10	0,7
	Total	10	11	8	50	7	76
	Producer's Accuracy	0,9	0,91	0,88	0,92	1,00	
			Overall accuracy				92,11%
			Kappa Coefficient				0,85

Sumber: Data Diolah (2026)

Berdasarkan hasil pengujian, nilai *overall accuracy* klasifikasi penggunaan lahan berada di atas 90%, yaitu 93,42% pada tahun 2016, 90,79% pada tahun 2020, dan 92,11% pada tahun 2024. Nilai koefisien *Kappa* berkisar antara 0,84-0,88 yang menunjukkan tingkat ketelitian tinggi, sehingga data layak digunakan sebagai dasar pemodelan prediksi penggunaan lahan. Hasil analisis juga menunjukkan adanya dinamika penggunaan lahan di Nagari Paru periode 2016-2024, ditandai dengan tren penurunan kawasan hutan dan peningkatan penggunaan lahan non-hutan. Luas hutan menurun dari 94,65% pada tahun 2016 menjadi 92,55% tahun 2020 dan 89,46% pada tahun 2024.

Tabel 8. Kelas Penggunaan Lahan Tahun di Nagari Paru Tahun 2016, 2020, dan 2024

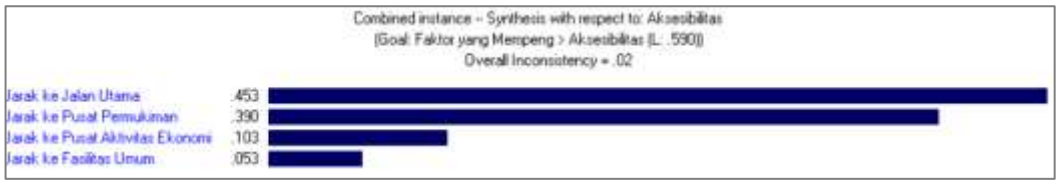
No	Penggunaan Lahan Tahun	Tahun 2016		Tahun 2020		Tahun 2024	
		Luas (Ha)	Persen (%)	Luas (Ha)	Persen (%)	Luas (Ha)	Persen (%)
1	Hutan	8936,35	94,65	8738,70	92,55	8446,53	89,46
2	Pertanian dan Perkebunan	428,54	4,54	621,46	6,58	907,72	9,61
3	Area Terbangun	69,50	0,74	76,78	0,81	92,44	0,98
4	Badan Air	7,46	0,08	4,94	0,05	6,33	0,07
	Total	9441,85	100	9441,85	100	9441,85	100

Sumber: Data Diolah (2026)

Luas hutan menurun dari 8.936,35 Ha (2016) menjadi 8.446,53 Ha (2024), sementara pertanian dan perkebunan meningkat dari 428,54 Ha menjadi 907,72 Ha. Area terbangun naik dalam julah yang kecil dari 0,74% menjadi 0,98%, sedangkan badan air relatif stabil.

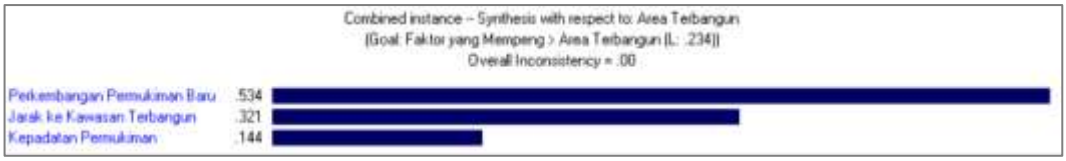
Analisis Faktor yang Mempengaruhi Perubahan Penggunaan Lahan dengan *Analytical Hierarchy Process*

Penelitian ini menggunakan AHP untuk menentukan faktor perubahan penggunaan lahan melalui perbandingan berpasangan berbasis *expert judgement*. Nilai CI < 0,1 menunjukkan hasil konsisten. Faktor dominan adalah aksesibilitas, terutama jarak ke jalan utama (0,453) dan pusat permukiman (0,390).



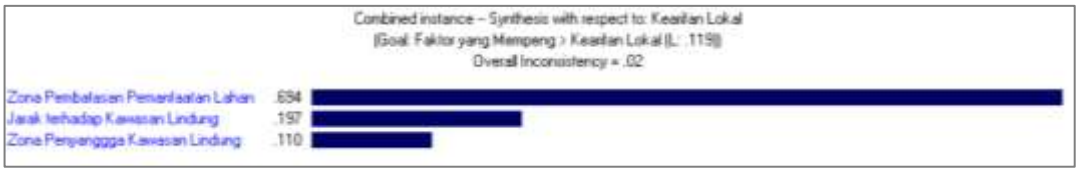
Gambar 6. Diagram Nilai Subkriteria pada Kriteria Utama Aksesibilitas

Pada kriteria aksesibilitas, diperoleh nilai *inconsistency* sebesar 0,02. Subkriteria yang memiliki pengaruh paling dominan adalah jarak terhadap jalan utama dengan bobot sebesar 0,453, diikuti oleh jarak ke pusat permukiman sebesar 0,390. Sementara itu, jarak ke pusat aktivitas ekonomi (0,103) dan jarak ke fasilitas umum (0,053) memiliki pengaruh relatif lebih kecil.



Gambar 7. Diagram Nilai Subkriteria pada Kriteria Utama Area Terbangun

Pada kriteria area terbangun, nilai *inconsistency* sebesar 0,01 menunjukkan tingkat konsistensi yang sangat baik. Subkriteria perkembangan permukiman baru menjadi faktor utama dengan bobot 0,534, diikuti oleh jarak ke kawasan terbangun (0,321) dan kepadatan permukiman (0,144).



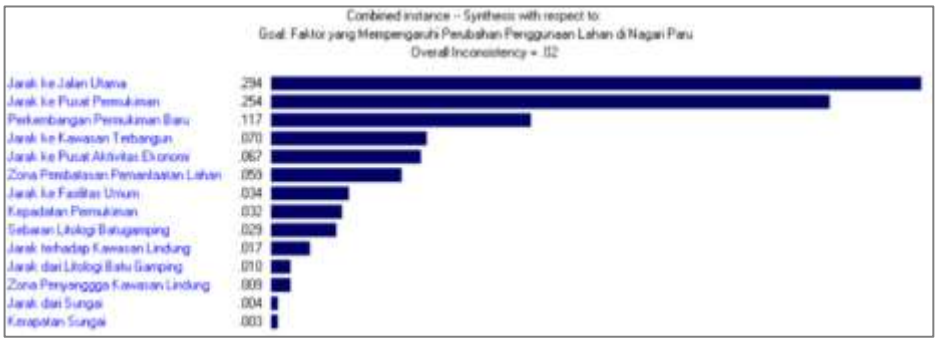
Gambar 8. Diagram Nilai Subkriteria pada Kriteria Utama Kearifan Lokal

Kriteria kearifan lokal menunjukkan nilai *inconsistency* sebesar 0,02, dengan subkriteria zona pembatasan pemanfaatan lahan sebagai faktor paling dominan (0,694). Sementara itu, jarak terhadap kawasan lindung (0,197) dan zona penyangga kawasan lindung (0,110) memiliki pengaruh yang lebih kecil.



Gambar 6. Diagram Nilai Subkriteria pada Kriteria Utama Bentang Alam Karst

Pada kriteria bentang alam karst, diperoleh nilai *inconsistency* sebesar 0,05. Subkriteria sebaran litologi batugamping menjadi faktor paling dominan dengan bobot sebesar 0,624, diikuti oleh jarak dari litologi batugamping (0,223).



Gambar 10. Diagram Nilai Seluruh Subkriteria

Hasil sintesis seluruh subkriteria menunjukkan bahwa aksesibilitas merupakan faktor paling dominan dalam mendorong perubahan penggunaan lahan dengan bobot sebesar 0,578, diikuti oleh area

terbangun. Sebaliknya, kearifan lokal dan bentang alam karst berperan sebagai faktor pengendali yang membatasi perubahan dari aspek sosial dan fisik.

Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Tahun 2040 dengan Integrasi *Cellular-Automata* dan *Analytical Hierarchy Process*

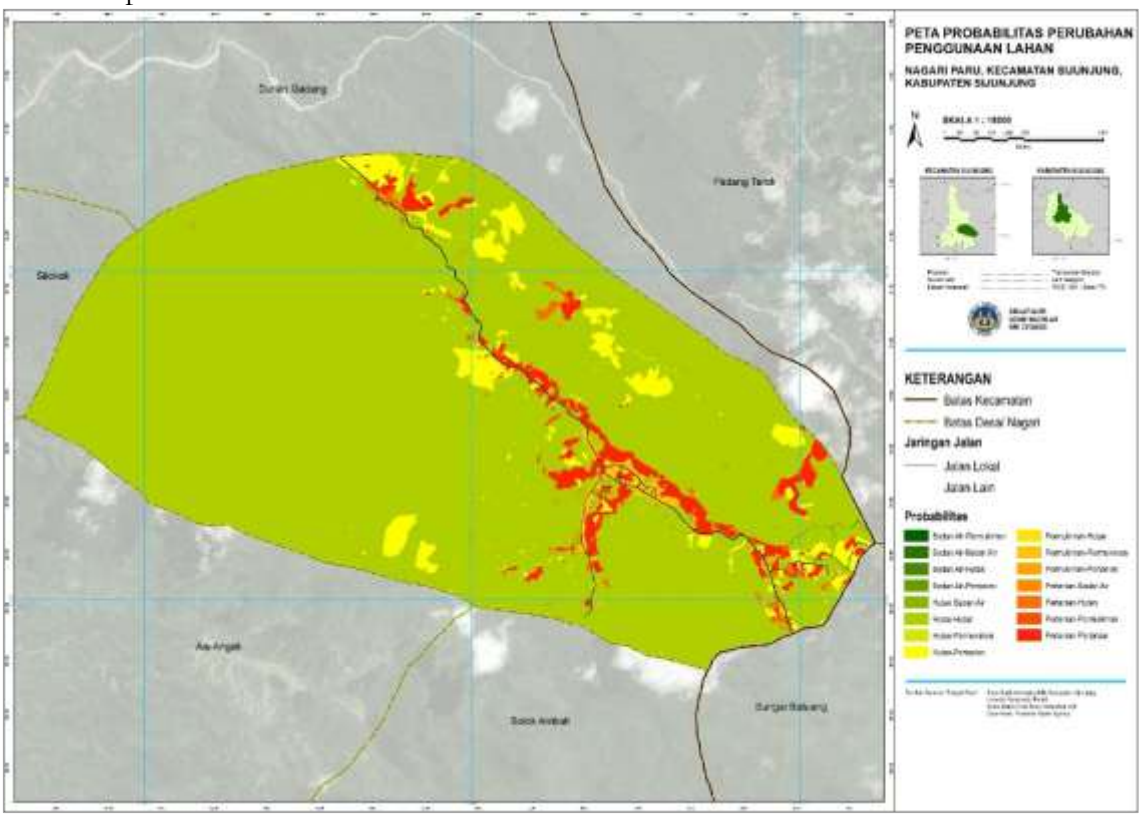
Pemodelan perubahan penggunaan lahan dilakukan menggunakan pendekatan *Cellular Automata-Artificial Neural Network* (CA-ANN) melalui *plugin* MOLUSCE pada QGIS dengan memanfaatkan data penggunaan lahan tahun 2016, 2020, dan 2024. Pemodelan dilakukan melalui penyusunan peta probabilitas perubahan dan pelatihan jaringan saraf tiruan dengan integrasi faktor pendorong berbasis *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Variabel yang digunakan meliputi jarak terhadap jalan utama, permukiman, kawasan *Rimbo Larangan*, dan litologi batugamping. Seluruh variabel diolah dalam bentuk raster menggunakan metode *Euclidean Distance* untuk menggambarkan pengaruh spasial terhadap perubahan penggunaan lahan. Hasil analisis disajikan dalam bentuk matriks transisi dan peta probabilitas perubahan penggunaan lahan.

Tabel 9. Matriks Transisi Perubahan Lahan

No	Penggunaan Lahan Tahun	Luas 2016 (Ha)	Luas 2020 (Ha)	Perubahan (Δ Ha)	Persentase Perubahan
1	Hutan	8.936,71	8.746,97	-189,74	-2,01%
2	Pertanian dan Perkebunan	427,65	613,7	186,05	1,97%
3	Area Terbangun	69,34	75,64	6,3	0,07%
4	Badan Air	7,54	4,93	-2,61	-0,03%

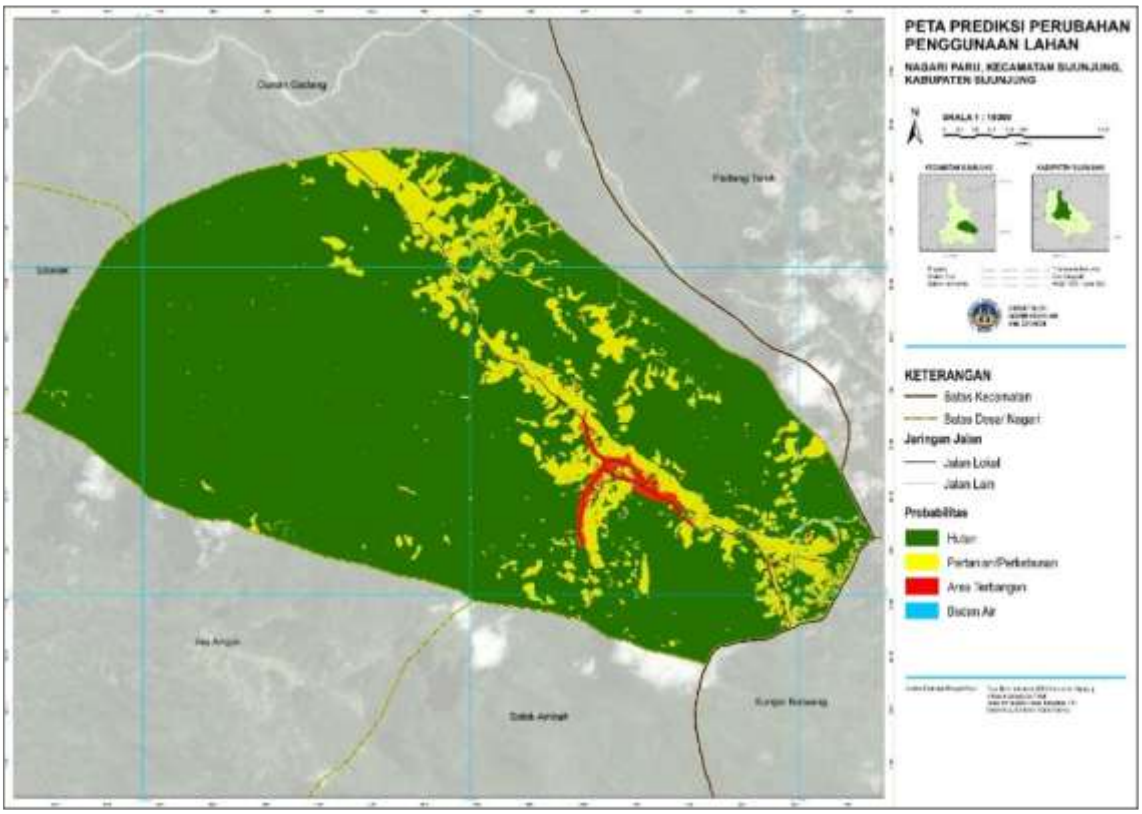
Sumber: Data Diolah (2026)

Hasil matriks transisi menunjukkan perubahan didominasi oleh konversi hutan menjadi lahan pertanian dan perkebunan, sementara perubahan menuju area terbangun relatif terbatas. Informasi ini digunakan sebagai dasar dalam penyusunan peluang perubahan (*transition potential*) pada tahap pemodelan. Variabel yang digunakan meliputi jarak terhadap jalan utama, kedekatan terhadap permukiman, zona pembatasan pemanfaatan lahan, dan sebaran litologi batugamping. Seluruh variabel diolah menjadi layer raster berbasis *Euclidean Distance* untuk menghasilkan peta probabilitas perubahan.



Gambar 11. Peta Probabilitas Perubahan Penggunaan Lahan

Model dilatih menggunakan *Artificial Neural Network* dengan 1.000 iterasi dan menghasilkan Validation *Kappa* sebesar 0,89391 yang menunjukkan akurasi tinggi. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi tahun 2024 dan kondisi aktual, dengan *Kappa* sebesar 0,92 sehingga model dinyatakan layak. Selanjutnya, simulasi prediksi tahun 2040 dilakukan menggunakan *Cellular Automata* berdasarkan hasil pelatihan dan faktor pendorong yang telah diintegrasikan. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan lahan masih didominasi hutan seluas 8105,44 Ha atau 85,85%, namun terdapat tekanan konversi. Lahan pertanian dan perkebunan meningkat menjadi 1228,98 Ha atau 13,02%, area terbangun 100,01 Ha atau 1,06%, sedangkan badan air tetap paling kecil yaitu 7,22 Ha atau 0,08%



Gambar 12. Peta Prediksi Penggunaan Lahan Tahun 2040 di Nagari Paru

Tabel 9. Peta Prediksi Penggunaan Lahan Nagari Paru Tahun 2040

No	Penggunaan Lahan Tahun	Luas (Ha)	Persen (%)
1	Hutan	8105,44	85,85
2	Pertanian dan Perkebunan	1228,98	13,02
3	Area Terbangun	100,01	1,06
4	Badan Air	7,22	0,08
	Total	9441,85	100

Sumber: Data Diolah (2026)

Peta prediksi penggunaan lahan di Nagari Paru tahun 2040 menggambarkan arah dan kecenderungan perubahan penggunaan lahan di masa mendatang. Perubahan penggunaan lahan di Nagari Paru pada periode 2016-2040 menunjukkan dinamika yang konsisten dengan pola penurunan kawasan hutan dan peningkatan lahan budidaya. Kawasan hutan sebagai kelas dominan mengalami penurunan bertahap dari 8936,35 Ha atau 94,65% pada tahun 2016 menjadi 8738,7 Ha atau 92,55% tahun 2020, 8446,53 Ha atau 89,46% tahun 2024, dan diproyeksikan menjadi 8105,44 Ha atau 85,85% pada tahun 2040, yang mengindikasikan adanya alih fungsi lahan secara berkelanjutan. Sebaliknya, lahan pertanian dan perkebunan meningkat dari 428,54 Ha atau 4,54% menjadi 1228,98 Ha atau 13,02%. Area terbangun juga menunjukkan peningkatan bertahap hingga 100,01 Ha atau 1,06%, sedangkan badan air relatif stabil. Secara keseluruhan, terjadi transformasi penggunaan lahan menuju aktivitas budidaya yang lebih intensif.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pemodelan, perubahan penggunaan lahan di Nagari Paru periode 2016-2024 menunjukkan tren penurunan tutupan hutan dari 94,65% menjadi 89,46% yang diikuti peningkatan lahan pertanian dan perkebunan serta area terbangun, sedangkan badan air relatif stabil, dengan hasil klasifikasi yang memiliki akurasi tinggi (*overall accuracy* >90% dan *Kappa* tinggi). Hasil AHP menunjukkan bahwa aksesibilitas, terutama kedekatan terhadap jalan, menjadi faktor paling dominan, diikuti perkembangan permukiman, sementara kearifan lokal dan bentang alam karst berperan sebagai faktor pengendali. Model CA yang digunakan terbukti valid dan layak untuk simulasi, dengan hasil prediksi tahun 2040 menunjukkan kecenderungan berlanjutnya alih fungsi lahan dari hutan menuju lahan budidaya dan area terbangun, yang mengindikasikan meningkatnya tekanan terhadap kawasan hutan dan menjadi dasar penting bagi perencanaan tata ruang berkelanjutan.

REFERENSI

Achmadi, P. N., Dimyati, M., Manesa, M. D. M., & Rakuasa, H. (2023). Model Perubahan Penggunaan lahan Berbasis Ca-Markov: Studi Kasus Kecamatan Ternate Utara, Kota Ternate. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 10(2), 451-460.

Afrianti, S. (2020). *Rimbo Larangan* Kearifan Lokal Masyarakat Minang Kabau Untuk Menjaga Kelestarian Sumber Daya Alam Dan Lingkungan. *Agroprimatech*, 3(2), 74-78.

Ahadi, & Zain. (2023). *Geography: Jurnal Kajian, Penelitian Dan Pengembangan Pendidikan*, 11(1). (Disitasi dalam konteks nilai Z distribusi normal).

Armensyah, V., & Iswandi, I. (2025). Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Kota Bukittinggi menggunakan Integrasi *Cellular Automata* dan *Analytical Hierarchy Process* . *TSAQOFAH*, 5(5), 4505-4524.

Azzahra, A., Pinta, J., Ambarwati, A., Maharani, R. Y., & Sutowo, I. R. (2023). Strategi Komunikasi Lingkungan Dalam Hukum Adat *Rimbo Larangan* Di Kenagarian Paru Kabupaten Sijunjung. *Mediakom: Jurnal Ilmu Komunikasi*, 7(2), 177-187.

Bozdağ, A., Selek, G., & Alkan, T. (2025). Spatial And Temporal Modeling Approach To Urban Sprawl: A Comparative Analysis Of Artificial Intelligence And Ahp-Based Approaches. *International Journal Of Engineering And Geosciences*, 11(2), 480-495.

Cochran, W. G. (1977). *Sampling Techniques* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.

Fahmi, S., Somantri, L., & Ridwana, R. (2023). Pemanfaatan Penginderaan Jauh Dan Teknologi Sistem Informasi Geografis Untuk Analisis Pemetaan Lahan Kritis Di Kecamatan Belinyu Kabupaten Bangka. *Geography: Jurnal Kajian, Penelitian Dan Pengembangan Pendidikan*, 11(1), 133.

Fahri, A., & Frananda, H. (2025). Analisis Spasial Deforestasi Kawasan Hutan Lindung Di Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan. *Jurnal Zona*, 9(2).

Falah, N., Karimi, A., & Harandi, A. T. (2021). Urban Growth Modeling Using *Cellular Automata* Model And Ahp (Case Study: Qazvin City). *Modeling Earth Systems And Environment*, 6(1), 235-248.

Frananda H., Yulianda F., Boer M., Nurjaya I. W., 2023 *Coastal ecology-based management for tsunami mitigation in Padang city, West Sumatera, Indonesia. AACL Bioflux* 16(4):2072-2080.

Hadiwibowo, H., Mansyur, U., & Wicaksono, A. (2024). Analisis Indeks Aksesibilitas Terhadap Perubahan Penggunaan lahan Dan Keselarasan Pemanfaatan Ruang Kawasan Perkotaan Di Wp Timur Kabupaten Bogor. *Syntax Literate; Jurnal Ilmiah Indonesia*, 9(10), 5423-5435.

Monsaputra, M. (2023). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Pertanian Menjadi Perumahan Di Kota Padang Panjang. *Tunas Agraria*, 6(1), 1-11.

Pradana, M. R., Wibowo, A., & Ekaputri, D. M. M. (2024). Intensitas Perluasan Lahan Terbangun Pada Perubahan Penggunaan lahan Kota Depok Tahun 1999 - 2022. *Jurnal Geografi, Edukasi Dan Lingkungan (Jgel)*, 8(2), 127-138.

Purboyo, A. A., Kurniawan, A., & Muta'ali, L. (2024). Analisis Spasial Temporal Perubahan Penggunaan lahan Di Kawasan Perkotaan Cekungan *Band*ung Berbasis Google Earth Engine. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*, 12(2), 251-260.

Putra, D. (2023). Pengetahuan Masyarakat Terhadap Hutan (Studi Antropologi Kognitif: Pada Pelaku Illegal Logging Di Nagari Unggan Kabupaten Sijunjung). *Jurnal Greenation Pertanian Dan Perkebunan*, 1(1), 23-29.

Putra Ulni, A. Z. (2017). Karakteristik Fisik Lahan Di Nagari Paru (*Rimbo Larangan*) Kabupaten Sijunjung. *Jurnal Spasial*, 2(2), 16-26.

Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012). *Models, Methods, Concepts & Applications Of The Analytic Hierarchy Process* (Vol. 175). Springer Us.

Sarastika, T., Susena, Y., & Kurniawan, D. (2023). Prediksi Konversi Lahan Pertanian Berbasis Artificial Neural Network-*Cellular Automata* (Ann-Ca) Di Kawasan Sleman Barat. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 10(2), 471-482.

Sela, R., Malik, A., & Tilaar, S. (2023). Pemodelan Proyeksi Penggunaan Lahan Berbasis Gis-Ca Menggunakan Landusesim Di Kecamatan Mapanget, Kota Manado. *Temu Ilmiah Ikatan Peneliti Lingkungan Binaan Indonesia (Iplbi)*, 11, 45-52.

Somae, G., Supriatna, S., Rakuasa, H., & Lubis, A. R. (2023). Pemodelan Spasial Perubahan Penggunaan lahan Dan Prediksi Penggunaan lahan Kecamatan Teluk Ambon Baguala Menggunakan Ca-Markov. *Jurnal Sains Informasi Geografi*, 6(1).

Sonia. (2022, December 23). *Hutan, ancaman, dan peluang jasa lingkungan di Sumatera Barat*. KKI Warsi. Diambil dari https://warsi.or.id/hutan-ancaman-dan-peluang-jasa-lingkungan-di-sumatera-barat/

Syarief, A., Ramadhan, R., & Fitriawan, D. (2024). The Use Of Sentinel-2a Imagery For Mapping The Conversion Of Agricultural Land Into Developed Land Using The Obia Method In Batang Anai District 2017 And 2022. 5(1).

Triyatno, Isril, B., & Idris. (2023). Spatial Model Of Flood Hazard Due To Land Cover Change In The Tarusan Watershed, West Sumatra-Indonesia. *International Journal Of Geomate*, *25*(108).

Yeny, I., Octavia, D., Ginoga, K. L., & Suharti, S. (2021). The Impact Of Community Capacity Building On Forest Management At Paru Village Forest, Sijunjung Regency, West Sumatera. *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, 914(1), 012010.

Yu, M., Song, S., He, G., & Shi, Y. (2022). Vegetation Landscape Changes and Driving Factors of Typical Karst Region in the Anthropocene. *Remote Sensing*, 14(21), 5391.