

Model Prediksi Perubahan Penutup Lahan di Kabupaten Majalengka Menggunakan Metode Cellular Automata Markov Chain

Hari Prayogi¹, Hafid Setiadi², Supriatna², Dewayany³

¹Universitas Indonesia, Badan Riset dan Inovasi Nasional

²Universitas Indonesia

³Badan Riset dan Inovasi Nasional

* Email koresponden: hari038@brin.go.id

Submitted: 2023-11-17 Revisions: 2024-04-01 Accepted: 2024-09-11 Published: 2024-09-18

©2024 Fakultas Geografi UGM dan Ikatan Geograf Indonesia (IGI)

©2024 by the authors. Majalah Geografi Indonesia.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons

Attribution (CC BY SA) <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Abstrak. Salah satu bentuk pembangunan yang ada di Kabupaten Majalengka yaitu pembangunan Bandara Internasional Jawa Barat yang mengakibatkan terjadinya perubahan penutup lahan. Perubahan penutup lahan dapat di analisis menggunakan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografi. Selain itu model prediksi perubahan penutup lahan dapat di analisis dengan menggunakan metode cellular automata markov chain. Tujuan dari penelitian ini yaitu (1) menyusun model prediksi perubahan penutup lahan tahun 2026 dan 2030 di Kabupaten Majalengka, (2) melakukan analisis perbandingan antara model prediksi penutup lahan tahun 2030 dengan peta pola ruang tahun 2011-2031. Perubahan penutup lahan yang terjadi selama 2014 sampai 2030 menunjukkan penurunan luas bukan lahan pertanian sebesar 225,241 Km² dan adanya peningkatan luas lahan pertanian, lahan terbuka, dan lahan terbangun masing-masing sebesar 136,172 Km², 57,768 Km², dan 30,774 Km². Model prediksi penutup lahan tahun 2030 memiliki kesesuaian dengan nilai minimal dengan peta pola ruang tahun 2011-2031 dengan luas penutup lahan tertinggi pada lahan pertanian dengan persentase luas masing-masing 68,013% dan 71,180%.

Kata kunci: model prediksi penutup lahan, cellular automata, markov chain.

Abstract. One form of development in Majalengka Regency is the construction of the West Java International Airport which resulted in changes in land cover. Land cover changes can be analyzed using remote sensing technology and geographic information systems. apart from that, the prediction model for land cover changes can be analyzed using the cellular automata Markov chain method. The objectives of this research are (1) to develop a prediction model for land cover changes in 2026 and 2030 in the Majalengka Regency, and (2) to carry out a comparative analysis between the 2030 land cover prediction model and the 2011-2031 spatial pattern map. Changes in land cover that occurred from 2014 to 2030 showed a decrease in the area of non-agricultural land by 225,241 Km² and an increase in the area of agricultural land, open land, and built-up land of 136,172 Km², 57,768 Km², and 30,774 Km² respectively. The 2030 land cover prediction model agrees with the minimum value of the 2011-2031 spatial pattern map with the highest land cover area on agricultural land with area percentages of 68.013% and 71.180% respectively.

Keywords: landcover prediction model, cellular automata, markov chain.

PENDAHULUAN

Kabupaten Majalengka merupakan salah satu kabupaten yang menjadi wilayah pengembangan di Provinsi Jawa Barat sebagai kawasan andalan Ciayumajakuning (Cirebon-Indramayu-Majalengka-Kuningan) berdasarkan Peraturan Daerah Nomor 22 Tahun 2010 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi (RTRWP) Jawa Barat (Jauzi et al., 2020). Hal tersebut menjadikan Kabupaten Majalengka menjadi salah satu kawasan andalan yang perkembangannya dikendalikan oleh Pemerintah Provinsi Jawa Barat. Salah satu pengembangan wilayah yang dilakukan di Kabupaten Majalengka yaitu dibangunnya Bandara Internasional Jawa Barat (BIJB) yang merupakan proyek strategis nasional dalam rangka penyediaan sarana dan prasarana transportasi seperti yang tertuang dalam Peraturan Daerah Provinsi Jawa Barat Nomor 13 Tahun 2010 tentang pembangunan dan pengembangan Bandara

Internasional Jawa Barat dan Kertajati Aerocity dan Peraturan Daerah Kabupaten Majalengka Nomor 11 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Majalengka tahun 2011-2031. Pembangunan BIJB yang berada di Kabupaten Majalengka sangat berpengaruh terhadap pembangunan di sektor lain seperti pembangunan kawasan permukiman (Andriany & Chofyan, 2016). Pembangunan yang terjadi di Kabupaten Majalengka juga akan memiliki dampak sosial, ekonomi, lingkungan (Rochman et al., 2021), dan terjadinya perubahan penutup lahan. Perubahan penutup lahan mengakibatkan penurunan luas pada kelas penutup tertentu serta diikuti peningkatan luasan pada beberapa kelas penutup lahan lain pada periode tertentu (Hidayat et al., 2015).

Perubahan penutup lahan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya faktor sosial, ekonomi (Yusuf et al., 2018), faktor fisik atau alam, dan manusia (Asra et

al., 2020). Terjadinya perubahan penutup lahan yang tidak diimbangi pengendalian dan penataan ruang yang baik akan berakibat pada terganggunya keseimbangan lingkungan dan mengakibatkan kerusakan lingkungan (Prianggoro et al., 2015). Oleh karena itu perlu dilakukan pemantauan dan pengawasan terhadap perubahan penutup lahan yang terjadi (Putri & Supriatna, 2021). Perubahan penutup lahan dapat di analisis dengan memanfaatkan teknologi peninderaan jauh dan sistem informasi geografi. Salah satu model yang sudah dipakai secara luas untuk melakukan analisis dan prediksi perubahan penutup lahan yaitu model *cellular automata markov chain* (Ebrahimipour et al., 2016; Fitriyanto et al., 2018; Irawan et al., 2019; Marko et al., 2016; Sugandhi et al., 2022).

Model *cellular automata markov chain* menghasilkan perubahan yang akan terjadi berdasarkan tren dan laju perubahan yang sama di masa depan berdasarkan masa lalu dan masa sekarang (Ahmed & Shariff, 2016). *Cellular automata markov chain* merupakan pemodelan spasial yang mampu memprediksi dan mengidentifikasi perubahan penutup lahan baik secara spasial maupun temporal di masa yang akan datang dengan sangat baik (Putri & Supriatna, 2021). *Markov Chain* merupakan metode untuk melakukan prediksi perubahan tutupan lahan yang paling banyak digunakan (Nugroho & Handayani, 2020). Pemodelan *cellular automata markov chain* dapat dilakukan dengan menggunakan *Land Change Modeler (LCM)* (Asra et al., 2020).

Penggunaan empat variabel *driving factor* yang umum dan banyak digunakan dalam penelitian pemodelan prediksi penutup lahan menggunakan metode *cellular automata markov chain* diantaranya yaitu ketinggian lahan, kemiringan lereng, jarak dari jalan, dan jarak dari sungai. Pratami et al. (2019) menggunakan empat variabel *driving factor* diatas dan ditambah dengan jarak dari garis pantai untuk membuat model prediksi pembangunan kawasan permukiman di Kota Bengkulu. Sama seperti variabel *driving factor* yang telah digunakan oleh Pratami et al. (2019), Akbar & Supriatna (2019) menambahkan lagi variabel *driving factor* jarak dari *Point of Interest* membuat model penutup lahan di Kota Palabuhan Ratu. Jauzi et al. (2020) dalam penelitiannya menggunakan empat variabel *driving factor* diatas dan ditambah dengan kepadatan penduduk untuk menghasilkan prediksi spasial tutupan lahan di Kota Cirebon. Rakuasa et al. (2022) menggunakan empat variabel *driving factor* diatas dan ditambah dengan jarak dari pusat kegiatan ekonomi untuk analisis dan prediksi tutupan lahan di Daerah Aliran Sungai Wae Ruh, Kota Ambon. Penggunaan empat variabel *driving factor* diatas dan ditambahkan jarak dari *Point of Interest* berupa fasilitas pendidikan dan fasilitas kesehatan digunakan untuk menghasilkan model prediksi penutup lahan di Kecamatan Sirimau, Kota Ambon dalam penelitian yang dilakukan oleh Sugandhi et al. (2022). Maka dalam penelitian ini, penulis ingin mengkombinasi dari beberapa variabel *driving factor* yang telah digunakan dalam beberapa penelitian sebelumnya yang disesuaikan dengan kondisi fisik wilayah dan ditambahkan dengan variabel *driving factor* jarak dari bangunan eksisting seperti penggunaan *driving factor* jarak dari permukiman eksisting yang digunakan oleh Ado et al. (2023) untuk menghasilkan model prediksi penutup lahan menggunakan metode *cellular automata markov chain* di Kabupaten Majalengka.

Analisis terkait perubahan dan prediksi penutup lahan di Kabupaten Majalengka perlu dilakukan mengetahui

perubahan penutup lahan yang terjadi dan kesesuaiannya terhadap Peraturan Pemerintah yang telah dibuat. Tujuan dari penelitian ini yaitu (1) menyusun model prediksi penutup lahan tahun 2026 dan 2030; (2) melakukan analisis perbandingan antara model prediksi perubahan penutup lahan terbangun tahun 2030 dan peta pola ruang dalam RTRW Kabupaten Majalengka tahun 2011-2031. Manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai bahan masukan dalam rangka pemantauan dan pemanfaatan ruang terkait pengambilan kebijakan pemanfaatan ruang di Pemerintahan Kabupaten Majalengka.

METODE PENELITIAN

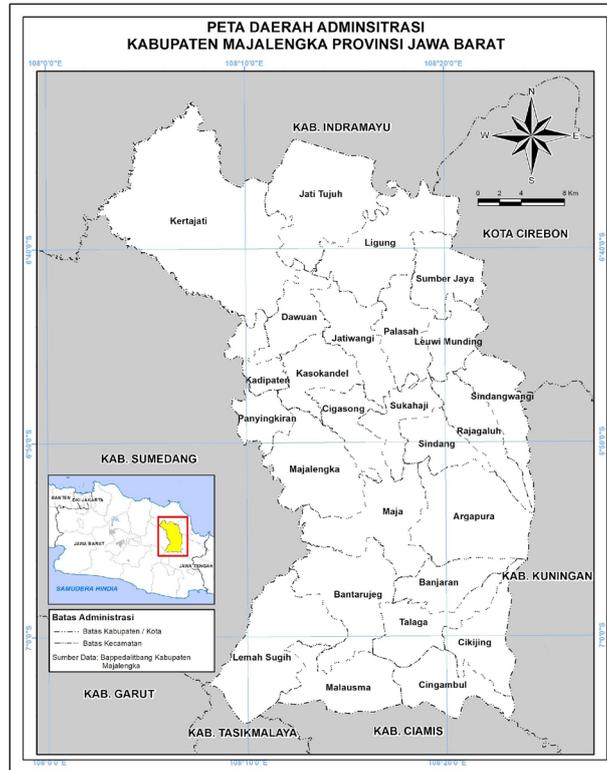
Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dalam penelitian ini yaitu daerah administratif Kabupaten Majalengka, Provinsi Jawa Barat yang terletak pada 108°03' BT - 108°25' BT dan 6°36' LS - 7°44' LS seperti yang terlihat pada Gambar 1. Kabupaten Majalengka berbatasan dengan Kabupaten Indramayu di bagian Utara, Kabupaten Cirebon dan Kabupaten Kuningan di Bagian Timur, dan Kabupaten Tasikmalaya dan Kabupaten Ciamis di bagian Selatan, dan Kabupaten Sumedang di bagian Barat. Letaknya yang strategis membuat Kabupaten Majalengka dijadikan sebagai salah satu pusat pengembangan wilayah di Provinsi Jawa Barat. Beberapa pengembangan wilayah yang dilakukan yaitu pengembangan di sektor bisnis, industri dan kota yang terintegrasi bandara atau *aerocity*. Secara topografi, Kabupaten Majalengka memiliki tiga zona yaitu zona dataran rendah pada bagian Utara dengan ketinggian 19-50 m dpl, zona bergelombang atau berbukit pada bagian Tengah dengan ketinggian 50-500 m dpl, dan zona pegunungan pada bagian Selatan dengan ketinggian 500-857 m dpl (Diskominfo Majalengka, 2023).

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data citra satelit Landsat 8 Top of Atmospheric (TOA) Level 1 yang memiliki resolusi 30 meter untuk tanggal 1 Januari sampai 31 Desember yang dilakukan penggabungan data serta penghapusan penutup awan dan bayangan awan untuk tahun data 2013, 2018, dan 2018 dan untuk wilayah administrasi Kabupaten Majalengka. Kanal atau band yang digunakan yaitu kanal 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8 yang bersumber dari United Soil Geological Survey (USGS) dan diperoleh dengan mengakses Google Earth Engine (GEE). Data citra satelit Landsat 8 dilakukan klasifikasi penutup lahan dengan menggunakan teknik *pansharpening* dan *machine learning* random forest sehingga menghasilkan model penutup lahan dengan resolusi spasial 15 meter tahun 2013, 2018, dan 2023 untuk wilayah Kabupaten Majalengka. Faktor pendorong perubahan (*driving factor*) merupakan variabel-variabel yang dapat mempengaruhi terjadinya perubahan penutup lahan (Rakuasa et al., 2022). Data *driving factor* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu ketinggian lahan, kemiringan lereng, jarak dari jalan, jarak dari sungai, jarak dari pusat pemerintahan, jarak dari fasilitas kesehatan, jarak dari fasilitas pendidikan, jarak dari pusat perdagangan dan bisnis, kepadatan penduduk, dan jarak dari bangunan eksisting. Masing-masing *driving factor* memiliki pengaruh yang berbeda-beda terhadap perubahan penutup lahan yang ada sehingga perlu dilakukan pembobotan (Tabel 2).

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu perangkat keras komputer, perangkat lunak ArcGIS dan Terrset, global



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Tabel 1. Teknik Pengumpulan Data.

No	Jenis Data	Sumber Data
1	Citra Satelit Landsat 8 Top of Atmosferic (TOA) Level 1 Tahun 2013, 2018, dan 2023	United Soil and Geological Survey (USGS) yang diakses melalui GEE
2	Batas administrasi	Bappedalitbang Kabupaten Majalengka
3	Ketinggian lahan	DEMNAS Badan Informasi Geospasial Tahun 2023
4	Kemiringan lereng	DEMNAS Badan Informasi Geospasial Tahun 2023
5	Jaringan jalan skala 1:25.000	Badan Informasi Geospasial Tahun 2023
6	Jaringan sungai skala 1:25.000	Badan Informasi Geospasial Tahun 2023
7	Titik pusat pemerintahan skala 1:25.000	Badan Informasi Geospasial Tahun 2023
8	Titik lokasi fasilitas kesehatan skala 1:25.000	Badan Informasi Geospasial Tahun 2023
9	Titik lokasi fasilitas pendidikan skala 1:25.000	Badan Informasi Geospasial Tahun 2023
10	Titik pusat perdagangan dan bisnis skala 1:25.000	Badan Informasi Geospasial Tahun 2023
11	Data spasial bangunan eksisting	OpenStreetMap Tahun 2023
12	Kepadatan penduduk Tahun 2021	Badan Pusat Statistik Kabupaten Majalengka
13	Peta Pola Ruang RTRW 2011-2031	Bappedalitbang Kabupaten Majalengka

positioning system (GPS), dan kamera. Perangkat lunak ArcGIS digunakan untuk melakukan pengolahan data *driving factor* dan layout hasil pemodelan penutup lahan, perangkat lunak Terrset digunakan untuk membuat model prediksi penutup lahan, GPS digunakan untuk menyimpan data lokasi, dan kamera digunakan untuk mendokumentasikan penutup lahan pada saat melakukan survey di lapangan.

Kelas klasifikasi model penutup lahan yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi lima kelas penutup lahan yaitu bukan lahan pertanian, lahan pertanian, lahan terbuka, lahan terbangun, dan badan air mengacu kelas klasifikasi penutup lahan yang digunakan oleh Rakuasa et al. (2022) dan Sugandhi et al. (2022). Kelas klasifikasi dan bobot faktor

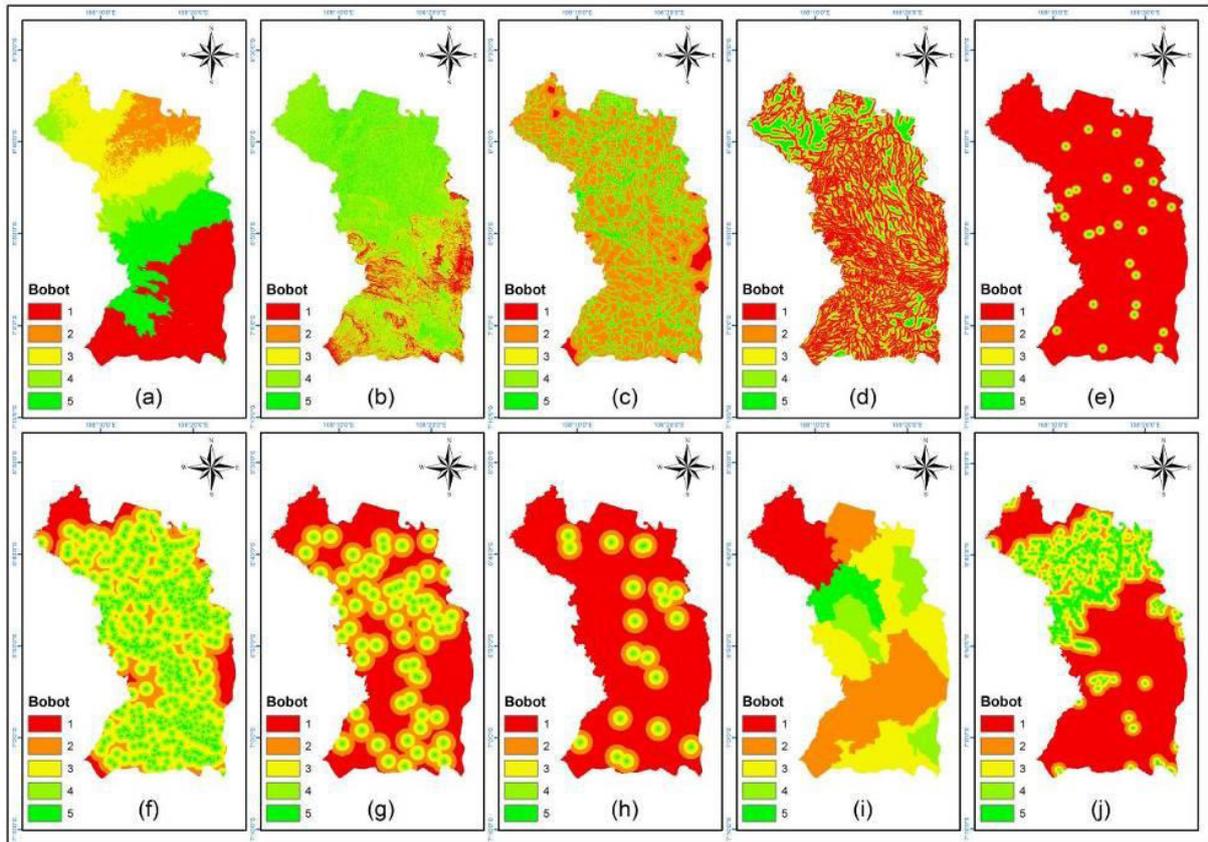
pendorong terjadinya perubahan penutup lahan (*driving factor*) yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2 dan secara spasial dapat dilihat pada Gambar 2.

Keterangan: (a):ketinggian lahan, (b):kemiringan lereng, (c):jarak dari jalan, (d):jarak dari sungai, (e):jarak dari pusat pemerintahan, (f):jarak dari fasilitas pendidikan, (g):jarak dari fasilitas kesehatan, (h):jarak dari pusat perdagangan dan bisnis, (i):kepadatan penduduk, (j):jarak dari bangunan eksisting.

Rantai Markov adalah proses dinamis berdasarkan proses acak yang menghitung probabilitas perubahan dari objek tertentu menjadi objek lain (Marko et al., 2016). Rantai markov dapat menganalisis perubahan penutup lahan yang terjadi pada suatu wilayah dari dua data citra yang memiliki

Tabel 2 Klasifikasi dan bobot faktor pendorong terjadinya perubahan penutup lahan

No	Variabel	Klasifikasi	Bobot	Sumber
1	Ketinggian lahan	0 - 25 m dpl	2	Modifikasi dari Pratami et al. (2019)
		25 - 50 m dpl	3	
		50 - 100 m dpl	4	
		100 - 500 m dpl	5	
		>500 m dpl	1	
2	Kemiringan lereng	0 - 3 %	5	Modifikasi dari Pratami et al. (2019)
		3 - 15 %	4	
		15 - 20 %	3	
		20 - 40 %	2	
		>40 %	1	
3	Jarak dari jalan	0 - 25 m	5	Rakuasa et al. (2022)
		25 - 50 m	4	
		50 - 100 m	3	
		100 - 1.000 m	2	
		>1.000 m	1	
4	Jarak dari sungai	0 - 100 m	1	Rakuasa et al. (2022)
		100 - 200 m	2	
		200 - 300 m	3	
		300 - 500 m	4	
		>500 m	5	
5	Jarak dari Pusat Pemerintahan	0 - 250 m	5	Modifikasi dari Akbar & Supriatna (2019)
		250 - 500 m	4	
		500 - 750 m	3	
		750 - 1.000 m	2	
		>1.000 m	1	
6	Jarak dari fasilitas kesehatan	0 - 250 m	5	Modifikasi dari Sugandhi et al. (2022)
		250 - 750 m	4	
		750 - 1.500 m	3	
		1.500 - 2.500 m	2	
		>2.500 m	1	
7	Jarak dari fasilitas pendidikan	0 - 250 m	5	Modifikasi dari Sugandhi et al. (2022)
		250 - 750 m	4	
		750 - 1.500 m	3	
		1.500 - 2.500 m	2	
		>2.500 m	1	
8	Jarak dari pusat perdagangan dan bisnis	0 - 250 m	5	Modifikasi dari Rakuasa et al. (2022)
		250 - 750 m	4	
		750 - 1.500 m	3	
		1.500 - 2.500 m	2	
		>2.500 m	1	
9	Kepadatan penduduk	0 - 500 jiwa/Km ²	5	Modifikasi dari Jauzi et al. (2020)
		500 - 1.000 jiwa/Km ²	4	
		1.000 - 1.500 jiwa/Km ²	3	
		1.500 - 2.000 jiwa/Km ²	2	
		>2.000 jiwa/Km ²	1	
10	Jarak dari bangunan eksisting	0 - 100 m	5	Modifikasi dari Ado et al., (2023)
		100 - 300 m	4	
		300 - 800 m	3	
		800 - 1.500 m	2	
		>1.500 m	1	



Gambar 2. Faktor Pendorong terjadinya perubahan penutup lahan (*driving factor*) dalam penelitian ini

lokasi yang sama atau berkaitan namun memiliki dua periode waktu yang berbeda (Ebrahimipour et al., 2016). Metode rantai markov dapat didefinisikan secara matematis sebagai berikut (Asra et al., 2020):

$$M_{LC} \cdot M_t = M_{t+1}$$

$$\begin{pmatrix} LC_{uu} & LC_{ua} & LC_{uw} \\ LC_{au} & LC_{aa} & LC_{aw} \\ LC_{wu} & LC_{wa} & LC_{ww} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_t \\ A_t \\ W_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{t+1} \\ A_{t+1} \\ W_{t+1} \end{pmatrix}$$

Keterangan:

MLC = Peluang.

M_t = Peluang tahun ke t.

M_{t+1} = Peluang tahun ke t+1.

U_t = Peluang setiap titik terklasifikasi sebagai kelas U pada waktu t.

LC_{ua} = Peluang suatu kelas u menjadi kelas lainnya pada rentang waktu tertentu.

Cellular Automata adalah metode berbasis data raster yang secara efektif dapat digunakan untuk membuat model perubahan tata guna lahan (Jauzi et al., 2020). Metode cellular automata-markov chain adalah metode yang digunakan untuk menambahkan suatu karakter ruang berdasarkan penerapan aturan (Hidayat et al., 2015). Prinsip dasar cellular automata markov chain yaitu mengukur probabilitas serangkaian kejadian di masa sekarang untuk memprediksi kejadian yang akan terjadi di masa depan (Fitriyanto et al., 2018). Penerapan aturan perubahan penutup lahan yang digunakan dalam

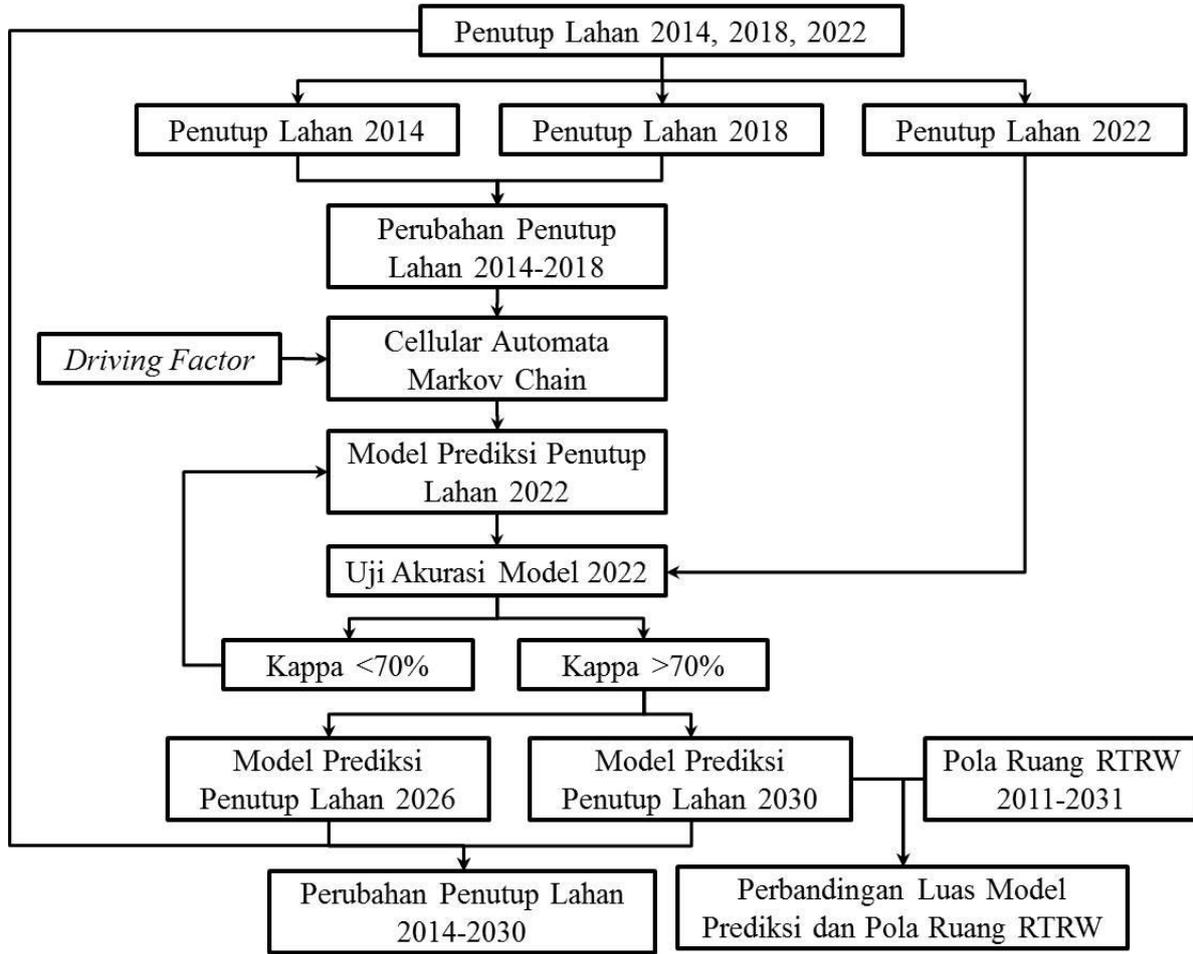
penelitian ini yaitu:

- Perubahan dari bukan lahan pertanian menjadi lahan pertanian.
- Perubahan dari bukan lahan pertanian menjadi lahan terbuka.
- Perubahan dari lahan pertanian menjadi lahan terbuka.
- Perubahan dari lahan pertanian menjadi lahan terbangun.
- Perubahan dari lahan terbuka menjadi lahan terbangun.

Model prediksi penutup lahan yang dihasilkan dalam penelitian ini perlu dilakukan uji akurasi model menggunakan uji K-standard (*Kappa Coefficient*). Uji akurasi dilakukan dengan membandingkan model prediksi penutup lahan tahun 2022 dengan peta penutup lahan tahun 2022, jika nilai kappa menunjukkan nilai lebih dari 70% maka model prediksi penutup lolos dan dapat dilanjutkan ke model prediksi penutup lahan tahun 2026 dan 2030. Pemilihan tahun 2026 dan 2030 sebagai tahun untuk membuat model prediksi disesuaikan dengan periode perulangan data pada data penutup lahan yang digunakan untuk membuat model yaitu data penutup lahan tahun 2014, tahun 2018, dan tahun 2022. Alur kerja dari penelitian ini dapat terlihat pada Gambar 3.

Analisis Data

Analisis perubahan penutup lahan tahun 2014 sampai 2030 di Kabupaten Majalengka dilakukan dengan metode analisis spasial dan analisis tabular. Analisis spasial dan tabular dilakukan dengan menjelaskan model prediksi penutup lahan tahun 2026 dan 2030 serta perubahan luas penutup lahan yang terjadi di Kabupaten Majalengka pada periode tahun 2014 sampai 2030. Analisis spasial dan tabular juga dilakukan dengan melihat besar kesesuaian menggunakan metode



Gambar 3. Alur Kerja Penelitian

Tabel 3. Transition Probability Matrix (TPM) tahun 2022

	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
LC1	0,8174	0,1785	0,0029	0,0009	0,0003
LC2	0,0901	0,8604	0,0311	0,0169	0,0015
LC3	0,0047	0,5681	0,3265	0,0777	0,0230
LC4	0,0024	0,3141	0,0566	0,6267	0,0002
LC5	0,0095	0,1680	0,0399	0,0000	0,7826

Keterangan: LC1=Bukan Lahan Pertanian, LC2=Lahan Pertanian, LC3=Lahan Terbuka, LC4=Lahan Terbangun, LC5=Badan Air.

overlay dan membandingkan luas antara model prediksi penutup lahan tahun 2030 dengan peta pola ruang RTRW 2011-2031 Kabupaten Majalengka.

HASIL DAN PEMBAHASAN

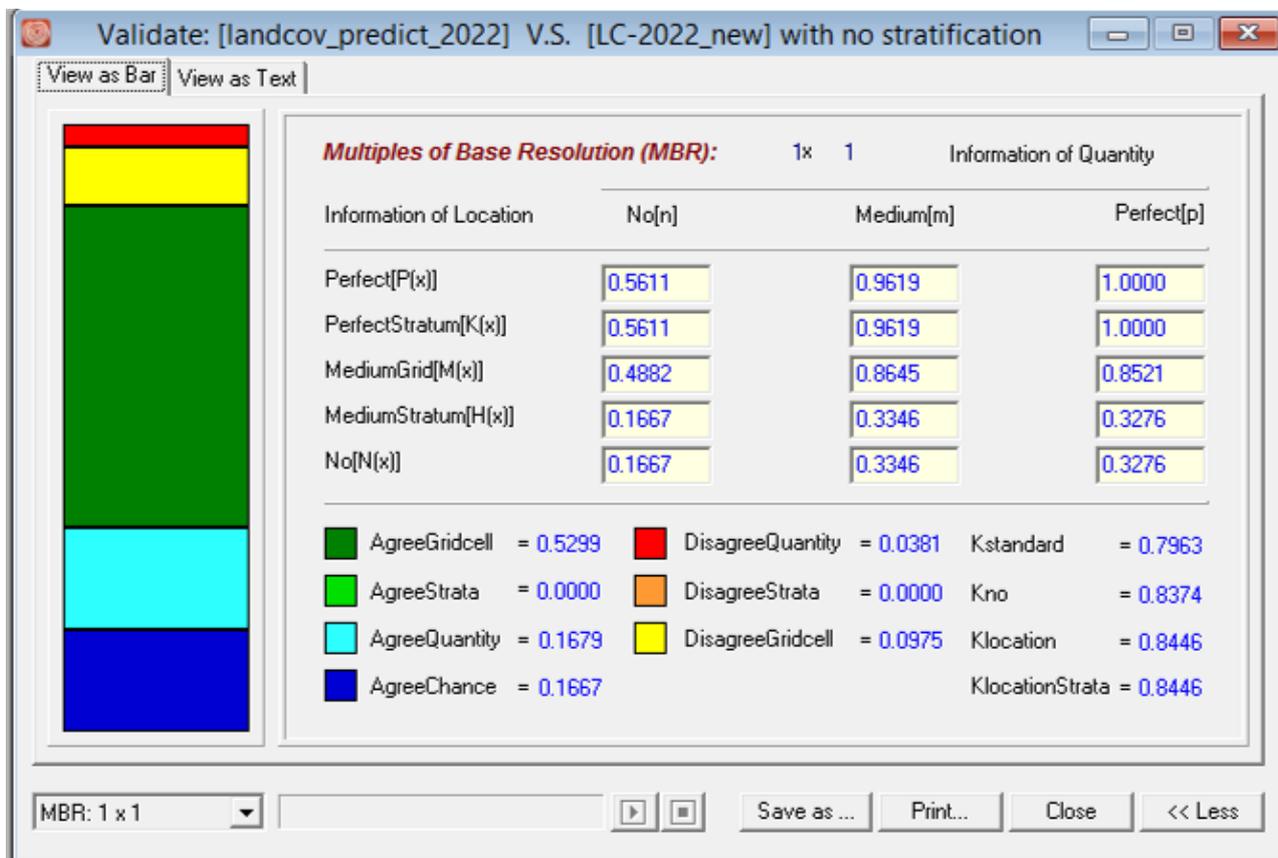
Model pediksi penutup lahan tahun 2022

Data penutup lahan tahun 2022 yang digunakan dalam penelitian ini memiliki nilai *overall accuracy* 0,920 dan nilai kappa 0,900. Data penutup lahan tahun 2014, 2018, data *driving factor*, dan nilai TPM digunakan untuk pembuatan model prediksi tahun 2022, sedangkan data penutup lahan tahun 2022 digunakan sebagai data uji akurasi model prediksi penutup lahan tahun 2022. Model prediksi penutup lahan tahun 2022 dibuat dengan menggunakan metode cellular automata markov chain. Nilai pada TPM menunjukkan tingkat kemungkinan terjadinya perubahan dari satu kelas penutup

lahan ke kelas penutup lahan lain (Rakuasa et al., 2022). Nilai TPM untuk tahun 2022 dapat terlihat pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3, dapat diketahui bahwa nilai kemungkinan tertinggi perubahan dari kelas penutup lahan lain menjadi penutup lahan terbangun terdapat pada penutup lahan terbuka dengan nilai 0,0777, sedangkan untuk kemungkinan terendah terdapat pada penutup lahan badan air dengan TPM 0.

Uji akurasi terhadap model prediksi penutup lahan tahun 2022 dilakukan dengan menggunakan data penutup lahan tahun 2022 eksisting. Nilai kappa yang dihasilkan dari uji akurasi yang dilakukan menghasilkan nilai 0,7963 (Gambar 4). Nilai kappa ini dapat diartikan bahwa model prediksi yang dihasilkan dapat dilanjutkan ke model prediksi dengan periode tahun berikutnya yaitu model prediksi penutup lahan tahun 2026 dan 2030.



Gambar 4. Uji akurasi pada model prediksi penutup lahan tahun 2022

Tabel 4. Perbandingan luas penutup lahan tahun 2022 eksisting dan prediksi tahun 2022

No.	Penutup Lahan	2022 Eksisting		Model Prediksi 2022	
		Luas (Km ²)	Persentase (%)	Luas (Km ²)	Persentase (%)
1	Bukan Lahan Pertanian	456,588	34,156	405,988	30,371
2	Lahan Pertanian	733,560	54,876	824,090	61,649
3	Lahan Terbuka	64,418	4,819	52,97	3,963
4	Lahan Terbangun	78,014	5,836	48,743	3,646
5	Badan Air	4,176	0,312	4,966	0,371
Total		1.336,756	100	1.336,756	100

Perbandingan luas penutup lahan tahun 2022 eksisting dan luas penutup lahan pada model prediksi tahun 2022 dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4, dapat diketahui bahwa lahan pertanian memiliki luasan tertinggi dibandingkan dengan penutup lahan lainnya baik pada penutup lahan 2022 eksisting maupun model prediksi penutup lahan tahun 2022. Sementara badan air merupakan penutup lahan dengan luas terendah baik pada penutup lahan tahun 2022 eksisting dengan luas 4,176 Km² maupun pada model prediksi tahun 2022 dengan luas 4,966 Km².

Model prediksi penutup lahan tahun 2026 dan 2030

Model prediksi penutup lahan tahun 2026 dihasilkan dari data penutup lahan tahun 2014, 2018, *driving factor*, dan TPM untuk 2026. Model prediksi penutup lahan tahun 2030 memiliki perbedaan dengan model prediksi penutup lahan tahun 2026 pada nilai TPM yang digunakan. Nilai TPM untuk tahun 2026 dapat dilihat pada Tabel 5 sedangkan TPM untuk tahun 2030 dapat dilihat pada Tabel 6.

Analisis perubahan penutup lahan tahun 2014-2030

Luas perubahan penutup lahan yang terjadi dari tahun 2014 sampai 2030 dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 5, sedangkan perubahan penutup lahan yang terjadi secara spasial dapat terlihat pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar 6, secara spasial dapat diketahui bahwa perubahan penutup lahan yang terjadi di Kabupaten Majalengka dari periode tahun 2014 sampai 2030. Dimana terjadi penurunan luas pada penutup lahan bukan lahan pertanian secara spasial terjadi pada bagian Timur yang merupakan zona pegunungan yaitu Gunung Ciremai yang berbatasan dengan Kabupaten Kuningan, dan pada bagian Selatan yang berbatasan dengan Kabupaten Ciamis, dan Kabupaten Tasikmalaya. Luas penutup bukan lahan pertanian yang semula pada tahun 2014 memiliki luas sebesar 521,425 Km² mengalami penurunan tiap tahunnya hingga pada tahun 2030 memiliki luas sebesar 296,183 Km². Disisi lain peningkatan luas penutup lahan terjadi pada penutup lahan berupa lahan pertanian, lahan terbuka, dan lahan terbangun.

Tabel 5. Transition Probability Matrix (TPM) untuk model prediksi penutup lahan tahun 2026

	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
LC1	0,6842	0,3015	0,0090	0,0045	0,0008
LC2	0,1513	0,7797	0,0382	0,0276	0,0032
LC3	0,0569	0,7034	0,1296	0,0837	0,0264
LC4	0,0320	0,4997	0,0637	0,4025	0,0020
LC5	0,0306	0,3004	0,0495	0,0059	0,6136

Keterangan: LC1=Bukan Lahan Pertanian, LC2=Lahan Pertanian, LC3=Lahan Terbuka, LC4=Lahan Terbangun, LC5=Badan Air.

Tabel 6. Transition Probability Matrix (TPM) untuk model prediksi penutup lahan tahun 2030

	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
LC1	0,5864	0,3882	0,0146	0,0093	0,0015
LC2	0,1942	0,7288	0,0389	0,0336	0,0046
LC3	0,1110	0,7197	0,0701	0,0744	0,0248
LC4	0,0725	0,5987	0,0593	0,2657	0,0039
LC5	0,0581	0,3970	0,0504	0,0127	0,4818

Keterangan: LC1=Bukan Lahan Pertanian, LC2=Lahan Pertanian, LC3=Lahan Terbuka, LC4=Lahan Terbangun, LC5=Badan Air.

Tabel 7. Luas penutup lahan di Kabupaten Majalengka tahun 2014-2030

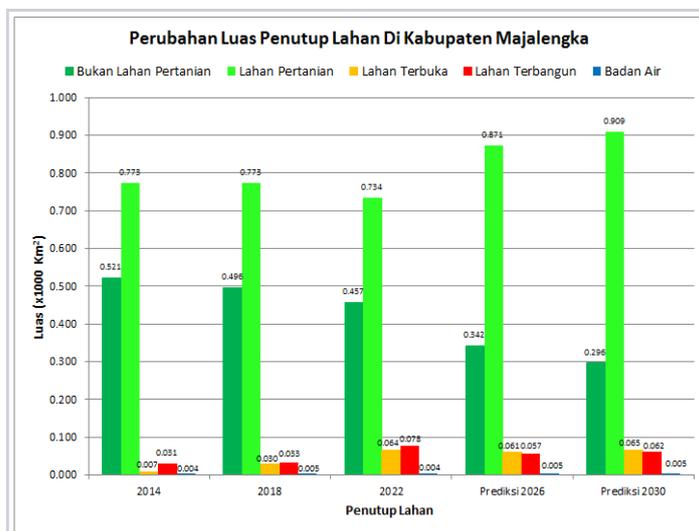
No.	Penutup Lahan	Luas (Km ²)				
		2014	2018	2022	Prediksi 2026	Prediksi 2030
1	Bukan Lahan Pertanian	521,425	495,954	456,588	341,960	296,183
2	Lahan Pertanian	772,990	772,650	733,560	871,340	909,162
3	Lahan Terbuka	7,130	29,819	64,418	61,302	64,897
4	Lahan Terbangun	30,774	33,368	78,014	57,189	61,548
5	Badan Air	4,437	4,966	4,176	4,966	4,966
Total Luas		1.336,756	1.336,756	1.336,756	1.336,756	1.336,756

Peningkatan luas untuk lahan pertanian terdapat pada bagian Tengah dan bagian Selatan, sedangkan peningkatan luas untuk lahan terbuka dan lahan terbangun terdapat pada bagian Tengah dan bagian Utara. Berdasarkan tabel 7, dapat diketahui luas lahan pertanian mengalami penurunan dari luas dari 772,990 Km² pada tahun 2014 menjadi 733,560 Km² pada tahun 2022, dan mengalami peningkatan luas kembali pada tahun 2026 dan 2030 menjadi 909,162 Km² pada tahun 2030. Lahan terbuka dan lahan terbangun mengalami peningkatan luas dari tahun 2014 hingga 2022 yaitu meningkat dari luas masing-masing pada tahun 2014 yaitu 7,130 Km² dan 30,774 Km² menjadi masing-masing 64,418 Km² dan 78,014 Km² pada tahun 2022. Luas lahan terbuka dan lahan terbangun pada tahun 2026 dan 2030 mengalami penurunan jika dibandingkan dengan pada tahun 2022, namun jika dibandingkan dengan tahun 2014 dan 2018 luas lahan terbuka dan lahan terbangun pada tahun 2026 dan 2030 mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan untuk luas penutup lahan tahun 2026 dan 2030 merupakan luas prediksi yang dihasilkan dari model prediksi penutup lahan menggunakan metode cellular automata markov chain yang didasarkan oleh data penutup lahan tahun 2014 dan 2018, sedangkan data luas penutup lahan tahun 2022 merupakan

data penutup lahan eksisting dan bukan merupakan data luas prediksi penutup lahan tahun 2022 seperti yang terlihat pada tabel 4. Peningkatan luas pada penutup lahan berupa lahan pertanian dan lahan terbuka di kontribusi dari penurunan luas bukan lahan pertanian sedangkan peningkatan luas penutup lahan berupa lahan terbangun di kontribusi oleh penurunan luas pada lahan pertanian dan lahan terbuka seperti yang terlihat pada Tabel 8 dan Tabel 9. Penutup lahan berupa badan air mengalami peningkatan luas pada tahun 2018, kemudian mengalami penurunan luas pada tahun 2022, mengalami peningkatan tahun 2026 dan tidak mengalami perubahan luas pada tahun 2030.

Analisis perbandingan model prediksi penutup lahan dengan pola ruang RTRW Kabupaten Majalengka

Analisis perbandingan antara model prediksi penutup lahan tahun 2030 dan peta pola ruang 2011-2031 dilakukan dengan membandingkan luas tiap kelas penutup lahan. Penentuan kawasan pada peta pola ruang di kelompokkan menjadi lima penutup lahan agar sama dengan jumlah kelas penutup lahan pada model prediksi penutup lahan tahun 2030 (Tabel 9).



Gambar 5. Grafik perubahan luas penutup lahan tahun 2014 sampai 2030 di Kabupaten Majalengka

Tabel 8. Transition Matrix Area Penutup Lahan Tahun 2014 ke Tahun 2018 dan Tahun 2018 ke Tahun 2022

LC1	2018					Total Luas (Km ²)	
	LC2	LC3	LC4	LC5			
2014	LC1	521,425	-23,460	-1,500	-0,390	-0,110	495,965
	LC2	23,460	772,990	-19,990	-3,390	-0,420	772,650
	LC3	1,500	19,990	7,130	1,190	0,010	29,820
	LC4	0,390	3,390	-1,190	30,774	0,000	33,364
	LC5	0,110	0,420	-0,010	0,000	4,437	4,957

LC1	2022					Total Luas (Km ²)	
	LC2	LC3	LC4	LC5			
2018	LC1	495,954	-27,170	-9,820	-2,430	0,050	456,584
	LC2	27,170	772,650	-28,960	-38,020	0,730	733,570
	LC3	9,820	28,960	29,819	-4,200	0,020	64,419
	LC4	2,430	38,020	4,200	33,368	0,000	78,018
	LC5	-0,050	-0,730	-0,020	0,000	4,966	4,166

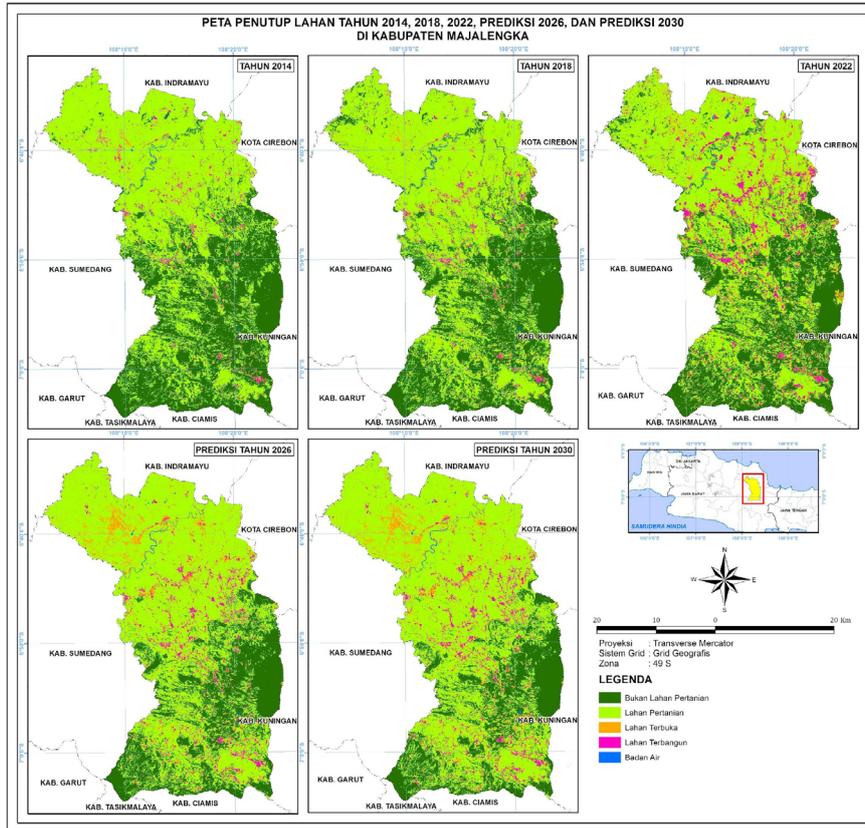
Keterangan: LC1=Bukan Lahan Pertanian, LC2=Lahan Pertanian, LC3=Lahan Terbuka, LC4=Lahan Terbangun, LC5=Badan Air.

Tabel 9. Transition Matrix Area Penutup Lahan Tahun 2022 ke Tahun 2026 dan Tahun 2026 ke Tahun 2030

LC1	2026					Total Luas (Km ²)	
	LC2	LC3	LC4	LC5			
2022	LC1	456,588	-116,520	1,530	0,520	-0,150	341,968
	LC2	116,520	733,560	5,720	16,170	-0,630	871,340
	LC3	-1,530	-5,720	64,418	4,140	-0,010	61,298
	LC4	-0,520	-16,170	-4,140	78,014	0,000	57,184
	LC5	0,150	0,630	0,010	0,000	4,176	4,966

LC1	2030					Total Luas (Km ²)	
	LC2	LC3	LC4	LC5			
2026	LC1	341,960	-42,570	-3,210	0,000	0	296,180
	LC2	42,570	871,340	-0,120	-4,620	0	909,170
	LC3	3,210	0,120	61,302	0,260	0	64,892
	LC4	0,000	4,620	-0,260	57,189	0	61,549
	LC5	0,000	0,000	0,000	0,000	4,966	4,966

Keterangan: LC1=Bukan Lahan Pertanian, LC2=Lahan Pertanian, LC3=Lahan Terbuka, LC4=Lahan Terbangun, LC5=Badan Air.



Gambar 6. Peta perubahan penutup lahan tahun 2014-2030 di Kabupaten Majalengka

Tabel 9. Penentuan kelas pola ruang menjadi lima kelas penutup lahan

No	Pola Ruang	Jenis Kawasan	Penutup Lahan
1	Kawasan Hutan	Lindung	Bukan Lahan Pertanian
2	Kawasan Lindung Geologi	Lindung	Bukan Lahan Pertanian
3	Kawasan lindungan Lainnya	Lindung	Bukan Lahan Pertanian
4	Kawasan Perlindungan Setempat	Lindung	Bukan Lahan Pertanian
5	Kawasan Perlindungan Terhadap Bawahannya	Lindung	Bukan Lahan Pertanian
6	Kawasan Rawan Bencana Alam	Lindung	Bukan Lahan Pertanian
7	Kawasan Suaka Alam dan Cagar Budaya	Lindung	Bukan Lahan Pertanian
8	Kawasan Hutan Produksi	Lindung	Lahan Pertanian
9	Kawasan Peruntukan Lainnya	Budidaya	Lahan Pertanian
10	Kawasan Peruntukan Pertanian	Budidaya	Lahan Pertanian
11	Kawasan Bandara	Budidaya	Lahan Terbuka
12	Kawasan Pertambangan	Budidaya	Lahan Terbuka
13	Kawasan Peruntukan Jalan	Budidaya	Lahan Terbuka
14	Kawasan Industri	Budidaya	Lahan Terbangun
15	Kawasan Peruntukan Pariwisata	Budidaya	Lahan Terbangun
16	Kawasan Peruntukan Permukiman	Budidaya	Lahan Terbangun
17	Kawasan Peruntukan Perikanan	Budidaya	Badan Air
18	Kawasan Perairan	Budidaya	Badan Air

Berdasarkan Tabel 9, dihasilkan lima kelas penutupan lahan seperti kelas penutup lahan pada model prediksi penutup lahan tahun 2030. Perbandingan luas tiap penutup lahan dapat dilihat pada Tabel 10. Dapat diketahui bahwa luas bukan lahan pertanian dan lahan terbuka pada Peta Pola Ruang RTRW 2011-2031 memiliki luas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan model prediksi penutup lahan tahun

2030. Di sisi lain lahan pertanian, lahan terbangun, dan badan air memiliki luas yang lebih tinggi dibandingkan dengan model prediksi penutup lahan tahun 2030. Lahan Pertanian menjadi kelas penutup yang memiliki luas tertinggi baik pada model prediksi penutup lahan maupun peta pola ruang RTRW 2011-2031 dengan luas masing-masing sebesar 909,162 Km² dan 951,498 Km². Sedangkan badan air menjadi kelas penutup

lahan terendah pada model prediksi penutup lahan 2030 dengan luas sebesar 4,966 Km² dan lahan terbuka menjadi kelas penutup lahan terendah pada peta pola ruang RTRW 2011-2031 dengan luas 6,115 Km².

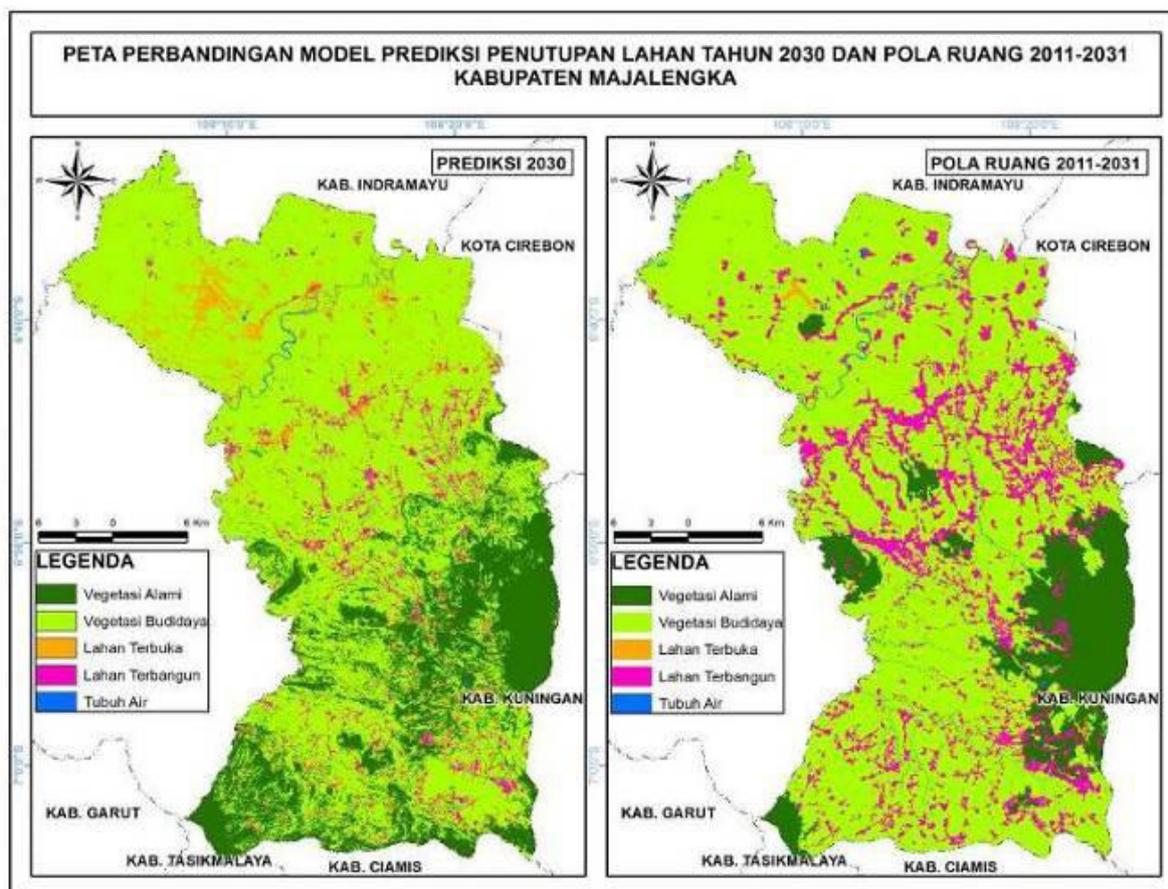
Secara tabular dapat terlihat pada Tabel 10, bahwa model prediksi penutup lahan tahun 2030 yang dihasilkan memiliki kesamaan untuk luas tertinggi dan terendah dengan peta pola ruang RTRW 2011-2031 yaitu untuk luas penutup lahan bukan lahan pertanian dan badan air. Namun secara spasial, model prediksi penutup lahan tahun 2030 dan pola ruang RTRW 2011-2031 memiliki tingkat kesepakatan (*level of agreement*) yaitu minimal atau wajar dengan nilai kappa sebesar 0,2547 (McHugh, 2012). Berdasarkan gambar 7, perbedaan yang ada antara pola ruang RTRW 2011-2031 dan model prediksi penutup lahan tahun 2030 yaitu, sebaran kelas penutup lahan terbangun pada pola ruang 2011-2031 terlihat memiliki luasan yang lebih tinggi pada bagian Tengah dan bagian Utara dari

Kabupaten Majalengka. Jika dikaitkan dengan *driving factor* yang digunakan dalam penelitian ini, peningkatan luas penutup lahan terbangun banyak terjadi pada wilayah ketinggian antara ketinggian 25-500 m dpl, memiliki kemiringan lereng dengan kemiringan lereng antara 0-15%, memiliki jarak yang dekat dengan jalan dengan jarak antara 0-100 m, dekat dengan pusat pemerintahan, fasilitas kesehatan, fasilitas pendidikan, pusat perdagangan dan bisnis dengan jarak antara 0-1.500 m, memiliki kepadatan penduduk kepadatan antara 0-1.500 Jiwa/Km², dan dekat dengan bangunan eksisting dengan jarak antara 0-800 m

Penelitian yang dilakukan oleh Akbar & Supriatna (2019), Pratami et al. (2019), Rakuasa et al. (2022), Sugandhi et al. (2022), dan Jauzi et al., (2020) memiliki persamaan yaitu sama-sama menghasilkan model prediksi penutup lahan dengan menggunakan metode *cellular automata markov chain* yang menghasilkan. Metode yang sama juga peneliti lakukan untuk

Tabel 10. Perbandingan luas dan persentase model prediksi penutup lahan tahun 2030 dan peta pola ruang 2011-2031 Kabupaten Majalengka.

No.	Penutup Lahan	Model Prediksi 2030		Pola Ruang RTRW 2011-2031	
		Luas (Km ²)	Persentase (%)	Luas (Km ²)	Persentase (%)
1	Bukan Lahan Pertanian	296,183	22,157	175,094	13,098
2	Lahan Pertanian	909,162	68,013	951,498	71,180
3	Lahan Terbuka	64,897	4,855	6,115	0,457
4	Lahan Terbangun	61,548	4,604	191,967	14,361
5	Badan Air	4,966	0,371	12,082	0,904
Total		1.336,756	100	1.336,756	100



Gambar 7. Perbandingan model prediksi penutup lahan tahun 2030 dan peta pola ruang tahun 2011-2031 Kabupaten Majalengka

menghasilkan model prediksi penutup lahan di Kabupaten Majalengka. Yang membedakan dari penelitian-penelitian tersebut yaitu dalam penelitian ini model yang dihasilkan menggunakan data citra satelit Landsat 8 dengan resolusi 15 meter dengan teknik pansharpening (Prayogi et al., 2023) dan mengkombinasikan beberapa driving factor yang telah digunakan peneliti sebelumnya serta menambahkan *driving factor* yaitu jarak dari bangunan eksisting yang mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Ado et al. (2023). Penggunaan data citra satelit dengan resolusi 15 meter sebagai data input model prediksi penutup lahan akan meningkatkan tingkat kedetilan dari model prediksi penutup lahan yang dihasilkan. Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini menunjukkan hasil yang sama yaitu terjadinya peningkatan luas lahan terbangun seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Akbar & Supriatna (2019), Pratami et al. (2019), dan Jauzi et al., (2020) dan juga diikuti peningkatan luas pada lahan terbuka seperti yang dilakukan oleh Rakuasa et al. (2022), Sugandhi et al. (2022). Selain peningkatan luas pada lahan terbangun dan lahan terbuka, di dalam penelitian ini juga terjadi peningkatan luas pada lahan pertanian yang membedakan dengan penelitian sebelumnya.

Adanya BIJB di Kabupaten Majalengka berdampak langsung terhadap perubahan penutup lahan yang terjadi Kabupaten Majalengka. Berdasarkan model prediksi penutup lahan yang dihasilkan dalam penelitian ini, maka dapat diketahui permbangunan yang dilakukan pada kawasan-kawasan industri dan BIJB sesuai dengan fakta dilapangan yang ditandai dengan meningkatnya luas penutup lahan terbuka dan terbangun pada bagian Tengah dan Utara dari Kabupaten Majalengka. Peningkatan luas lahan terbangun pada model prediksi penutup lahan tahun 2030 sejalan dengan rencana kawasan peruntukan industri di Kabupaten Majalengka berdasarkan Peraturan Daerah Kabupaten Majalengka Nomor 11 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (Paramasatya & Rudiarto, 2020), yang secara spasial berada di bagian Tengah dan bagian Utara meliputi 10 Kecamatan yaitu Kecamatan Jatitujuh, Kecamatan Kadipaten, Kecamatan Kertajati, Kecamatan Ligung, Kecamatan Dawuan, Kecamatan Kasokandel, Kecamatan Jatiwangi, Kecamatan Sumberjaya, Kecamatan Leuwimunding, dan Kecamatan Palasah. Adanya pembangunan BIJB di Kabupaten Majalengka juga membawa pengaruh positif bagi pertumbuhan ekonomi di bidang industri dan konstruksi (Jimika, 2019). Hal ini ditandai dengan banyaknya kawasan industri baru yang didirikan pada bagian Tengah dan bagian Utara dari Kabupaten Majalengka.

KESIMPULAN

Perubahan penutup lahan yang terjadi tahun 2014 sampai 2030 di Kabupaten Majalengka menunjukkan terjadinya peningkatan luasan penutup lahan pada lahan pertanian, lahan terbuka dan lahan terbangun dengan peningkatan luas pada tahun 2030 menjadi masing-masing yaitu 909,162 Km², 64,897 Km², dan 61,548 Km². Disisi lain kelas penutup lahan berupa bukan lahan pertanian terus mengalami penurunan luas dengan luas bukan lahan pertanian pada tahun 2030 yaitu menjadi 296,183 Km². Sebaran spasial peningkatan luas lahan pertanian, lahan terbuka, dan lahan terbangun sebagian besar berada pada bagian Tengah dan Utara, sedangkan penurunan luas bukan lahan pertanian terjadi pada bagian Timur dan bagian Selatan dari Kabupaten Majalengka. Badan air mengalami peningkatan luas pada tahun 2018 dan 2026, mengalami penurunan luas pada tahun 2022, dan tidak

mengalami perubahan luas pada tahun 2030 dengan luas 4,966 Km². Model prediksi penutup lahan tahun 2030 yang dihasilkan dalam penelitian ini memiliki kesesuaian minimal berdasarkan nilai kappa yang dihasilkan dengan pola ruang RTRW 2011-2031 Kabupaten Majalengka. Luas penutup lahan tertinggi yang sama terdapat pada kelas penutup lahan lahan pertanian, dan untuk luas penutup lahan terendah pada model prediksi penutup lahan 2030 terdapat pada kelas penutup lahan badan air, sedangkan pada peta pola ruang terdapat pada kelas penutup lahan lahan terbuka. Metode yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilanjutkan oleh peneliti lain dan dapat dijadikan sebagai bahan masukan dalam rangka pemantauan dan pemanfaatan ruang terkait pengambilan kebijakan pemanfaatan ruang di Pemerintahan Kabupaten Majalengka.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis mengucapkan terima kasih atas semua dukungan dari pihak yang turut mendukung berlangsungnya penelitian ini terutama Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah memberi dukungan dana dalam penelitian ini dan Program Studi Magister Ilmu Geografi Universitas Indonesia yang telah memberi dukungan dalam kegiatan penelitian ini. Tim penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Badan Kesejahteraan Bangsa dan Politik (Bakesbangpol) dan Badan Pembangunan Daerah Penelitian dan Pengembangan (Bappedalitbang) Kabupaten Majalengka yang telah memberikan izin penelitian dan data-data terkait yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Tidak lupa pula tim penulis sampaikan terima kasih kepada para *reviewer* yang telah memberikan masukan dan saran pada naskah publikasi dalam penelitian ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Hari Prayogi melakukan pengumpulan data lapangan, melakukan pengolahan data, dan membuat naskah publikasi; **Hafid Setiadi** mendisain metode penelitian dan analisis data; **Supriatna** mendisain metodologi penelitian dan melakukan review naskah publikasi; dan **Dewayany** melakukan interpretasi hasil dan melakukan review naskah publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ado, Y. P. G., Sela, R. L., & Warouw, F. (2023). Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Berbasis Cellular Automata Di Kota Batam Tahun 2041. *Jurnal Bios Logos Vol. 13, No.2*, 19–28. <https://doi.org/10.35799/jbl.v13i2.46570>
- Ahmed, G. B., & Shariff, A. R. M. (2016). Predicting The Vegetation Expansion in Selangor, Malaysia Ssing the NDVI and Cellular Automata Markov Chain. *Proceedings of the World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'16) Prague, Czech Republic*, 1–6.
- Akbar, F., & Supriatna. (2019). Land Cover Modelling of Pelabuhanratu City in 2032 Using Celullar Automata-Markov Chain Method. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 311 (2019) 012071*, 1–6.
- Andriany, D. I., & Chofyan, I. (2016). Identifikasi Perkembangan Lahan Sawah dan Peremukiman di Kabupaten Majalengka. *Prosiding Perencanaan Wilayah Kota Vol. 2 No. 2 2016*, 394–398.
- Asra, R., Mappiasse, M. F., & Nurnawati, A. A. (2020). Penerapan Model CA-Markov Untuk Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Di Sub-DAS Bila Tahun 2036. *Jurnal Ilmu Pertanian Vol. 5 No. 1*, 1–8.
- Diskominfo Majalengka. (2023). *Profil Majalengka*. <https://majalengkakab.go.id/profil-majalengka-2/>

- Ebrahimipour, A., Saadat, M., & Farshchin, A. (2016). Prediction of Urban Growth through Cellular Automata-Markov Chain. *Bulletin de La Société Royale Des Sciences de Liège Vol. 85*, 824–839.
- Fitriyanto, B. R., Helmi, M., & Hadiyanto. (2018). Model Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Dengan Pendekatan Sistem Informasi Geografis Dan Cellular Automata Markov Chain: Studi Kasus Kabupaten Rokan Hulu, Provinsi Riau. *Jurnal Teknologi Technoscientia Vol. 11 No. 2*, 137–147.
- Hidayat, W., Rustiadi, E., & Kartodihardjo, H. (2015). Dampak Pertambangan Terhadap Perubahan Penggunaan Lahan dan Kesesuaian Peruntukan Ruang (Studi Kasus Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan). *Jurnal Perencanaan Wilayah Dan Kota Vol. 26 No. 2*, 130–146.
- Irawan, I. A., Supriatna, S., Manessa, M. D. M., & Ristya, Y. (2019). Prediction Model of Land Cover Changes using the Cellular Automata-Markov Chain Affected by the BOCIMI Toll Road in Sukabumi Regency. *GEODETA 2019 Vol. 2019*, 247–256.
- Jauzi, F. A., Chofyan, I., & Fardani, I. (2020). Prediksi Spasial Tutupan Lahan Kota Cirebon dengan Menggunakan Model Cellular Automata Markov. *Prosiding Perencanaan Wilayah Dan Kota Vol. 6 No. 2 Tahun 2020*, 206–219.
- Jimika, F. (2019). Dampak Pembangunan Bandara Kertajati Terhadap Struktur Perekonomian Majalengka. *Jurnal Ekonomi Syariah Dan Bisnis Vol. 3, No. 1*, 11–21.
- Marko, K., Zulkarnain, F., & Kusratmoko, E. (2016). Coupling of Markov chains and cellular automata spatial models to predict land cover changes (case study: Upper Ci Leungsi catchment area). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 47 (2016) 012032*, 1–10. <http://iopscience.iop.org/1755-1315/47/1/012032>
- McHugh, M. L. (2012). *Interrater Reliability: The Kappa Statistic*. Di Akses Pada 5 Oktober 2022. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/article/s/PMC3900052>
- Nugroho, R. A., & Handayani, H. H. (2020). Prediksi Perubahan Tutupan Lahan Menggunakan Metode Markov Chain dan Citra Satelit Penginderaan Jauh (Studi Kasus: Kota Surabaya). *Jurnal Teknik ITS Vol. 9 No. 2*, C71–C77.
- Paramasatya, A., & Rudiarto, I. (2020). Implikasi Penetapan Wilayah Pusat Pertumbuhan Industri Terhadap Penggunaan Lahan di Kabupaten Majalengka. *Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Kota Vol. 16 No. 2*, 144–157.
- Pratami, M., Susiloningtyas, D., & Supriatna. (2019). Modelling cellular automata for the development of settlement area Bengkulu City. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 311 (2019) 012073*, 1–8.
- Prayogi, H., Setiadi, H., Supriatna, & Dewayany. (2023). Land cover change analysis in Majalengka Regency using the pan-sharpening method and random forest machine learning algorithm. *Jurnal Pendidikan Geografi: Kajian, Teori, Dan Praktik Dalam Bidang Pendidikan Dan Ilmu Geografi Vol. 28, No. 2*, 178–192. <https://doi.org/10.17977/um017v28i22023p178-192>
- Prianggoro, A. A., Pachlevy, A., & Forestriko, H. F. (2015). Prediksi Tutupan Lahan Terbangun Sebagai Dasar Pengendalian Pemanfaatan Ruang Kawasan Perkotaan Semarang. *CoUSD Proceedings September 2015*, 1–14. <http://proceeding.cousd.org>
- Putri, R. A., & Supriatna, S. (2021). Coupling of Markov chains and cellular automata spatial models to predict land cover changes (case study: Upper Ci Leungsi catchment area). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 623 (2021)*, 1–6.
- Rakuasa, H., Salakory, M., & Latue, P. C. (2022). Analisis Dan Prediksi Perubahan Tutupan Lahan Menggunakan Model Celular Automata-Markov Chain Di DAS Wae Ruhu Kota Ambon. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan Vol. 9 No. 2*, 285–295.
- Rochman, B. T. F., Meilina, C., & Fajriati, C. E. (2021). Analisis Ekologi Administrasi: Dampak Pembangunan Bandara Internasional Jawa Barat (BIJB) Kertajati Di Desa Putridalem Kecamatan Jatitujuh Kabupaten Majalengka. *Jurnal Inovasi Penelitian Vol. 1 No. 12*, 2761–2768.
- Sugandhi, N., Supriatna, Kusratmoko, E., & Rakuasa, H. (2022). Prediksi Perubahan Tutupan Lahan di Kecamatan Sirimau, Kota Ambon Menggunakan Celular Automata-Markov Chain. *Jurnal Pendidikan Geografi Vol. 9 No. 2*, 104–118.
- Yusuf, S. M., Murti Laksono, K., Hidayat, Y., & Suharnoto, Y. (2018). Analisis Dan Prediksi Perubahan Tutupan Lahan Di DAS Citarum Hulu. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan Vol. 8 No. 3*, 365–375.

Peraturan-Peraturan Pemerintah

- Peraturan Daerah Provinsi Jawa Barat Nomor 22 Tahun 2010 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi Jawa Barat 2009-2029.
- Peraturan Daerah Provinsi Jawa Barat Nomor 13 Tahun 2010 Tentang Pembangunan Dan Pengembangan Bandar Udara Internasional Jawa Barat Dan Kertajati Aerocity.
- Peraturan Daerah Kabupaten Majalengka Nomor 11 Tahun 2011 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Majalengka 2011-2031.