MODEL SKENARIO PENGGUNAAN LAHAN BERBASIS *CELLULAR AUTOMATA-MARKOV CHAIN* SEBAGAI SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN SPASIAL UNTUK PERENCANAAN KOTA SAMARINDA

Land Use Scenario Model Cellular Automata-Markov Chain Based as a Spatial Decision Support System for Samarinda City Planning

Adelia Juli Kardika[1*], Kiamah Fathirizki Agsa Kamarati[2], Faradilla[3], Rusdiana Ningsih[4], dan Nur Rahma Muzaddiyah Dinata[5]

[1,2,4,5]Jurusan Lingkungan dan Kehutanan, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Kalimantan Timur, Indonesia

[3]Jurusan Perkebunan, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Kalimantan Timur, Indonesia

ABSTRACT. *The city of Samarinda is one of the supporting cities for Indonesia's new capital city. This will of course have an impact on increasing infrastructure development in Samarinda. Land use scenario modeling is an effective alternative that can be used to understand land conditions by analyzing and simulating future land use scenarios. The aim of this research is to create a land use scenario model which can later be used as a spatial decision support system in policy making related to Samarinda city spatial planning and sustainable governance. The method used in this research is a combination of the Cellular Automata (CA)-Markov Chain model with Remote Sensing-GIS. The results of this research show that the Celelu Automata-Markov Chain based land use scenario model shows that in 2034 Samarinda City will experience an increase and decrease in area in several land uses. There has been a significant increase in the area of land use, namely settlements, mining, dry land farming mixed with bushes, and dry land farming. From CA-Markov modeling, changes in LULC will occur in the future. The detailed analysis in this research will be very useful as basic data information to help city planners and local governments for future planning and development as well as technical knowledge about landscape changes.*

Keywords: *Cellular Automata-Markov Chain; Forest; Land Use; Remote Sensing*

ABSTRAK. Kota Samarinda merupakan salah satu kota penyanggah Ibu Kota Negara baru Indonesia. Hal ini tentunya akan berdampak dengan semakin meningkatnya pembangunan infrastruktur di Samarinda. Pemodelan skenario penggunaan lahan menjadi salah satu alternatif yang efektif yang dapat dilakukan untuk memahami kondisi lahan dengan menganalisis dan mensimulasikan skenario penggunaan lahan di masa yang akan datang. Tujuan penelitian ini adalah membuat model skenario penggunaan lahan yang nantinya dapat digunakan sebagai sistem pendukung keputusan spasial dalam pengambilan kebijakan yang kaitannya dengan perencanaan tata ruang kota Samarinda dan tata kelola yang berkelanjutan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kombinasi antara model *Cellular Automata* (CA)-*Markov Chain* dengan *Remote Sensing*-GIS. Hasil penelitian ini menujukkan bahwa Model skenario penggunaan lahan berbasis *Celluar Automata-Markov Chain* menunjukkan bahwa di tahun 2034 Kota Samarinda mengalami peningkatan dan penurunan luasan di beberapa penggunaan lahan. Peningkatan luasan penggunaan lahan yang signifikan bertambah yaitu permukiman, pertambangan, pertanian lahan kering campur semak, dan pertanian lahan kering. Dari pemodelan CA-Markov, perubahan LULC akan terjadi di masa depan. Analisis terperinci dalam penelitian ini akan sangat berguna sebagai data dasar informasi untuk membantu perencana kota dan pemerintah daerah untuk perencanaan masa depan dan pengembangan serta pengetahuan teknis tentang perubahan lanskap.

Kata kunci: Celluar Automata-Markov Chain; Hutan; Penggunaan lahan; Penginderaan jauh

Penulis untuk korespondensi, surel: adeliajk@politanisamarinda.ac.id

PENDAHULUAN

Penggunaan lahan dan perubahan tutupan lahan (LULC) menggambarkan hubungan antara aktivitas manusia dengan lingkungannya dan merupakan faktor yang mengakibatkan terjadinya perubahan iklim (Gaur *et al*., 2020; Tan *et al*., 2020). Pesatnya urbanisasi, bukan hanya menghasilkan dampak positif tetapi diiringi juga dengan dampak negatif, salah satunya yaitu degradasi lahan (Lin *et al*., 2020). Pentingnya pengetahuan perubahan LULC di masa yang akan datang dapat menjadi strategi dalam pengelolaan jasa ekosistem, perencanaan perkotaan, sehingga penyusunan pembangunan berkelanjutan yang lestari dapat terwujud.

Kota Samarinda merupakan salah satu kota penyanggah Ibu Kota Negara baru Indonesia. Secara alami ini akan menghasilkan peningkatan pembangunan infrastruktur di Samarinda. Selain itu percepatan laju pertumbuhan industri tambang, sawit, perumahan, perkantoran, dan lainnya juga akan terus meningkat. Sedangkan penelitian Warsilan (2019) menunjukkan dari tahun 2000 ke tahun 2016 saja, proporsi luas lahan terbangun Kota Samarinda meningkat sebesar 57,66%. Hal ini tentunya menjadi dasar penting adanya model skenario penggunaan lahan Kota Samarinda di masa yang akan datang.

Pemodelan skenario penggunaan lahan menjadi salah satu alternatif yang efektif yang dapat dilakukan untuk memahami kondisi lahan dengan menganalisis dan mensimulasikan skenario penggunaan lahan di yang akan datang (Wang *et al*., 2019). Pemodelan perubahan penggunaan lahan di daerah perkotaan memungkinkan adanya eksplorasi pembangunan kota di masa depan.

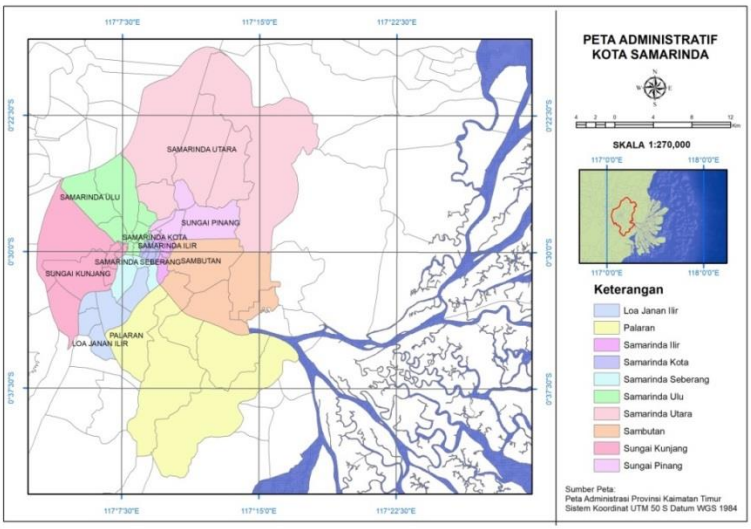
Beberapa dekade belakangan ini, ada banyak penelitian yang menggunakan model statistik dan geospasial dalam melakukan evaluasi dinamika perubahan penggunaan lahan beberapa contohnya adalah Algoritma Genetika (Li *et al*., 2013), Rantai Markov (Aburas *et al*., 2017), *Artificial Neural Networks* (ANN) (Saeedi, 2018), *Cellular Automata* (CA) (Tong and Feng, 2020), dan *Future Land Use Simulasi* (FLUS) (Liu *et al*., 2017). Pemodelan tersebut efektif digunakan untuk menskenariokan perubahan penggunaan lahan yang dapat digunakan oleh pemerintah dalam perencanaan kota dan pengembangannya secara berkelanjutan. Dari beberapa model skenario, sebagian besar simulasi spasial perubahannya dilakukan dengan sistem yang kompleks tanpa memasukkan faktor makro seperti kepadatan penduduk dan kebijakan yang ada di dalamnya (Valencia *et al*., 2020).

Model *Cellular Automata-Markov Chain* adalah kombinasi antara *Cellular Automata* dan *Markov Chain* yang saling berintegrasi dalam menghasilkan suatu model. Intergrasi kedua model ini diimplementasikan dalam skenario perubahan penggunaan lahan dengan mempertimbangkan kondisi lahan dan faktor sosialnya (Nath *et al*., 2020).

Penginderaan jauh menjadi salah satu sumber data yang penting digunakan dalam memantau perubahan penggunaan lahan. Hal ini karena cakupannya luas, ketepatan waktunya dan resolusi spasialnya yang tinggi (Kardika *et al*., 2018; Nath *et al*., 2020; Lin *et al.,* 2020; Wang *et al*., 2021). Kombinasi antara *Cellular Automata-Markov Chain* dengan RS-GIS menjadi satu kombinasi yang tepat untuk menghasilkan skenario penggunaan lahan. Dengan demikian, tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat model skenario penggunaan lahan yang nantinya dapat digunakan sebagai sistem pendukung keputusan spasial dalam pengambilan kebijakan yang kaitannya dengan perencanaan tata ruang kota Samarinda dan tata kelola yang berkelanjutan. Jangka panjangnya penelitian ini nantinya akan menghasilkan mitigasi dan adaptasi terhadap potensi sumberdaya dan potensi kebencanaan wilayah.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan selama 4 bulan yaitu Juli sampai November 2023. Adapun lokasi penelitian ini berada di Kota Samarinda yang berada di Provinsi Kalimantan Timur. Peta administratif lokasi penelitian ini disajikan pada Gambar 1 dan luasannya disajikan pada Tabel 2.



Gambar 1. Peta Administratif Lokasi Penelitian di Kota Samarinda

Data yang digunakan yaitu citra Landsat, Citra SPOT 6, batas Kota Samarinda, data jaringan jalan, data penduduk Kota Samarinda dan data RTRW Kota Samarinda. Untuk proses interpretasi citra Landsat diawali dengan proses composite band, memotong citra (*cropping*), dan interpertasi citra dengan menggunakan software Arc GIS. Selanjutnya dalam proses ini akan ada penyesuaian antara data hasil interpretasi citra dengan yang ada di lapangan, data GPS, dan data-data pendukung lainnya.

Uji akurasi dilakukan menggunakan pengujian data hasil interpretasi citra dengan data lapangan yang telah diambil, seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Confusion Matriks*

		Data Acuan (Pengecekan Lapangan)			Total Kolom
		A	B	C	
Data Hasil Interpretasi Citra	A	X_n			X_{k+}
	B				
	C			X_{kk}	
Total Baris		X_{+k}			N

Tingkat keakuratan interpretasi ini dapat diterima yaitu jika akurasinya 85%. Dari tabel *Confusion Matriks*, selanjutnya dihitung uji akurasi menggunakan *overall accuracy* dengan perbandingan persentase yang disajikan dengan persamaan pertama sebagai berikut:

$$OA = \frac{X}{N} \times 100\%$$

Keterangan:
X = Jumlah nilai diagonal matriks (titik sampel yang sesuai di lapangan)
N = Jumlah sampel matriks (titik sampel keseluruhan)

Semua data diambil kemudian dilakukan analisis untuk mendapatkan skenario penggunaan lahan Kota Samarinda di masa mendatang. Ditahap ini juga akan dilakukan penerapan model *Cellular Automata* (CA)-*Markov Chain*. Skenario penggunaan lahan dilakukan dengan *Cellular Automata* (CA)-*Markov Chain*. Hasil analisis ini digunakan untuk memutuskan penggunaan lahan pada tahun skenario.

Transitional/probability area matrix dihasilkan dari model *Markov Chain*. Matriks ini merepresentasikan pergeseran dari tahun sebelumnya ke tahun skenario. Persamaan Markov dibangun menggunakan matriks transisi dan distribusi pengukuran penggunaan lahan awal dan akhir. Hubungan ketiganya tadi diilustrasikan pada

persamaan kedua sedangkan Ilustrasi matriks transisinta disajikan pada Tabel 2.

$M_{LC} . M_t = M_t + 1$

$$\begin{bmatrix} LC_{uu} & LC_{ua} & LC_{uw} \\ LC_{au} & LC_{an} & LC_{aw} \\ LC_{wu} & LC_{wa} & LC_{ww} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_t \\ A_t \\ W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_t \\ A_t \\ W \end{bmatrix}$$

Ut adalah persentase probabilitas dari setiap titik yang telah diberi klasifikasi kelas U pada waktu t.LC_{ua} dan ini juga mengilustrasikan kemungkinan bahwa kelas U akan diberi kelas yang berbeda di bawah kondisi waktu tertentu.

Tabel 2. Matriks Area Transisi

Penggunaan Lahan tahun t1	Penggunaan Lahan tahun t2			
	P_{it2}	P_{it2}		P_{zt2}
P_{it1}	X_{ii}	…..	…..	…..
P_{it1}	…..	X_{ii}	…..	…..
…..	…..	…..	…..	…..
P_{zt1}	…..	…..	…..	X_{ii}

Keterangan :
P_{it1} = tipe penggunaan lahan ke-I pada tahun t1
P_{it2} = tipe penggunaan lahan ke-I pada tahun t2
Z = jumlah tipe penggunaan lahan
X_{ii} = luas perubahan penggunaan lahan I sepanjang rentang waktu t1 ke t2
t1 = tahun ke-1
t2 = tahun ke-2

Pada proses ini akan dilakukan proses kartografi (pemetaan) dengan memanfaatkan software Arc GIS 10.3 dan Quantum GIS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil interpretasi citra terdapat 15 penggunaan lahan yang terdapat di Kota Samarinda yaitu bandara/pelabuhan, belukar, belukar rawa, hutan lahan kering sekunder, hutan rawa sekunder, hutan tanaman, lahan terbuka, perkebunan, permukiman, pertambangan, pertanian lahan kering, pertanian lahan kering campur semak, rawa, sawah, dan tubuh air. Kondisi setiap penggunan lahan di tahun 2001 dan 2012 disajikan pada Tabel 3.

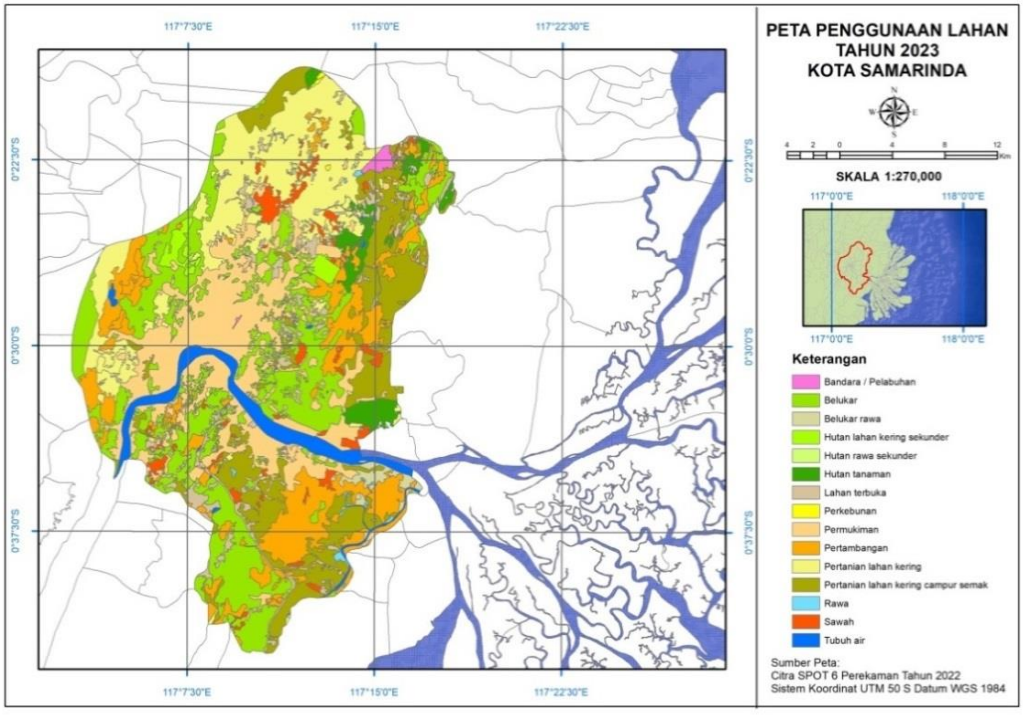
Tabel 3. Penggunaan Lahan Tahun 2001 dan 2012

No	Kelas Penggunaan Lahan	Tahun 2001		Tahun 2012	
		Luas (Ha)	Luas (%)	Luas (Ha)	Luas (%)
1	Bandara/Pelabuhan	217.39	0.30	217.39	0.30
2	Belukar	36134.18	49.93	26307.22	36.35
3	Belukar rawa	7.73	0.01	5.13	0.01
4	Hutan lahan kering sekunder	1854.58	2.56	1851.98	2.56
5	Hutan rawa sekunder	13.12	0.02	13.12	0.02
6	Hutan Tanaman	8707.18	12.03	5870.01	8.11
7	Lahan Terbuka	1637.51	2.26	3240.96	4.48
8	Perkebunan	192.60	0.27	371.82	0.51
9	Permukiman	8207.10	11.34	11235.38	15.52
10	Pertambangan	3115.81	4.31	13255.78	18.32
11	Pertanian lahan kering	18.09	0.02	18.09	0.02

No	Kelas Penggunaan Lahan	Tahun 2001		Tahun 2012	
		Luas (Ha)	Luas (%)	Luas (Ha)	Luas (%)
12	Pertanian lahan kering campur semak	8017.32	11.08	6406.91	8.85
13	Rawa	82.80	0.11	71.69	0.10
14	Sawah	1489.17	2.06	742.86	1.03
15	Tubuh Air	2678.85	3.70	2765.08	3.82
Total		**72373.43**	**100.00**	**72373.43**	**100.00**

Tabel 3 menunjukkan bahwa penggunaan lahan dari tahun 2001 sampai tahun 2012 mengalami perubahan secara signifikan. Perubahan yang terjadi yaitu penambahan dan penurunan luasan pada masing-masing kelas penggunaan lahan. Penggunaan lahan yang mengalami penambahan luasan diantaranya pertambangan, permukiman, lahan terbuka, perkebunan dan tubuh air. Sedangkan penggunaan lahan yang mengalami penurunan luasan diantaranya belukar rawa, hutan lahan kering sekunder, rawa, sawah, pertanian lahan kering campur semak, hutan tanaman, dan belukar. Untuk penggunaan lahan yang tidak mengalami perubahan luasan yaitu bandara/pelabuhan, hutan rawa sekunder, pertanian lahan kering.

Perubahan penggunaan lahan memiliki dampak yang signifikan terhadap hilangnya keanekaragaman hayati, areal tutupan berhutan dan terjadinya perubahan iklim (Wei, Deng, Lin, Wang, & Huang, 2023). Perubahan penggunaan lahan di Kota Samarinda merupakan rangkaian peristiwa terjadinya pengalihfungsian beberapa penggunaan lahan tertentu dengan rentang waktu pengamatan 11 tahun. Selanjutnya penggunaan lahan di tahun 2023 disajikan pada Gambar 2 dan Tabel 4.



Gambar 2. Peta Penggunaan Lahan Tahun 2023

Tabel 4. Penggunaan Lahan Tahun 2023

No	Kelas Penggunaan Lahan	Tahun 2023	
		Luas (Ha)	Luas (%)
1	Bandara / Pelabuhan	280.58	0.39
2	Belukar	15884.30	21.95
3	Belukar rawa	4.79	0.01
4	Hutan lahan kering sekunder	795.69	1.10
5	Hutan rawa sekunder	10.98	0.02
6	Hutan tanaman	1917.44	2.65
7	Lahan terbuka	3006.97	4.15
8	Perkebunan	52.74	0.07
9	Permukiman	13528.78	18.69
10	Pertambangan	14129.12	19.52
11	Pertanian lahan kering	8980.17	12.41
12	Pertanian lahan kering campur semak	10410.39	14.38
13	Rawa	65.66	0.09
14	Sawah	650.45	0.90
15	Tubuh air	2655.39	3.67
	Total	**72373.43**	**100.00**

Tabel 4 menunjukkan penggunaan lahan pertanian lahan kering mengalami peningkatan luasan 8980.17 Ha di tahun 2023, sedangkan di tahun 2012 luasannya hanya 18.09 Ha. Hampir sama halnya dengan penggunaan lahan pertanian lahan kering campur semak juga mengalami peningkatan luas sebesar 10410.39 di tahun 2023, sedangkan di tahun 2012 hanya 6406.91 Ha. Permukiman memiliki luasan 13528.78 Ha di tahun 2023, sedangkan di tahun 2012 seluas 11235.38 Ha.

Peningkatan luasan yang sangat terlihat di beberapa penggunaan lahan menunjukkan bahwa hal ini sangat berkaitan dengan pertumbuhan penduduk di Kota Samarinda. Penduduk Kota Samarinda di tahun 2001 sebesar 529,767 jiwa (Badan Pusat Statistik Kota Samarinda, 2002) dan mengalami kenaikan di tahun 2012 sebesar 781,184 jiwa (BPS Kota Samarinda, 2013), kemudian naik lagi di tahun 2022 sebesar 834,824 (BPS Kota Samarinda, Kota Samarinda dalam Angka 2023, 2023). Peningkatan jumlah penduduk ini tentunya akan berdampak pada kebutuhan akan lahan pertanian dan pemukiman pun meningkat (Beshir, Moges, & Dananto, 2023), selain itu perkembangan industri dan urbanisasi juga akan meningkatkan terjadinya perubahan penggunaan lahan ((Liverman & Cuesta, 2008); (Meshesha, Tsunekawa, Tsubo, Ali, & Haregeweyn, 2014); (Berihun, et al., 2019)).

Hasil analisis pada tahun 2023 diuji ketelitian akurasinya. Uji akurasi ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keakuratan interpretasi citra dengan membandingkan hasil data hasil interpretasi citra tahun 2023 dengan data hasil observasi lapangan tahun 2023. Hasil uji akurasi diperoleh dari metode *confussion matriks* yang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 memberikan informasi total pengambilan titik sampel pada setiap kelas penggunaan lahan yang berjumlah 271 titik. Bagian baris merupakan total titik data hasil interpretasi citra Spot 6, pada bagian kolom menunjukkan titik data hasil pengecekan di lapangan. Sedangkan pada bagian diagonal menujukkan jumlah titik sampel setiap kelas penggunaan lahan yang terbukti sesuai dengan pengecekan di lapangan. Berdasarkan hasil *Confussion Matriks* dari 15 kelas penggunaan lahan terdapat 6 jenis penggunaan lahan yang tidak mengalami perubahan setelah pengecekan di lapangan yaitu bandara/pelabuhan, hutan lahan kering sekunder, hutan rawa sekunder, perkebunan, rawa dan tubuh air.

Tabel 5. *Confussion Matriks* Titik Pengecekan masing-masing Kelas Penggunaan Lahan Tahun 2023

Kelas Penggunaan Lahan		Data Pengecekan Lapangan Tahun 2023															Total
		C 1.1	C 1.2	C 1.3	C 1.4	C 1.5	C 1.6	C 1.7	C 1.8	C 1.9	C 1.10	C 1.11	C 1.12	C 1.13	C 1.14	C 1.15	
Data Hasil Interpretasi Citra Tahun 2023	C1.1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**3.00**
	C1.2	0	50	0	0	0	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	**54.00**
	C1.3	0	0	11	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	**12.00**
	C1.4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**3.00**
	C1.5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**1.00**
	C1.6	0	0	0	0	0	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	**8.00**
	C1.7	0	0	0	0	0	0	12	0	0	2	0	0	0	0	0	**14.00**
	C1.8	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	**2.00**
	C1.9	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0	0	0	0	0	0	**45.00**
	C1.10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	**26.00**
	C1.11	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	23	0	0	0	0	**25.00**
	C1.12	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	42	0	1	0	**47.00**
	C1.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	**10.00**
	C1.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	**16.00**
	C1.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	**5.00**
	Total	**3**	**51**	**11**	**3**	**1**	**7**	**17**	**2**	**47**	**32**	**23**	**42**	**10**	**17**	**5**	**271.00**

Jumlah titik koordinat yang tidak mengalami perubahan penggunaan lahan

Keterangan:

1 = Bandara/Pelabuhan
2 = Belukar
3 = Belukar rawa
4 = Hutan lahan kering sekunder
5 = Hutan rawa sekunder
6 = Hutan tanaman
7 = Lahan terbuka
8 = Perkebunan
9 = Permukiman
10 = Pertambangan
11 = Pertanian lahan kering
12 = Pertanian lahan kering campur semak
13 = Rawa
14 = Sawah
15 = Tubuh air

Hasil dari *Confussion Matriks* titik pengecekan lapangan masing-masing penggunaan lahah, diketahui terdapat 271 titik sampel (N). Jumlah titik yang terbukti benar di lapangan sebanyak 255 titik (X), sedangkan yang tidak sesuai di lapangan sebanyak 16 titik. Dari hasil tersebut kemudian dilakukan uji akurasi berupa perhitungan *overall accuracy* untuk mengetahui persentase tingkat kepercayaan dari masing-masing penggunaan lahan pada Kota Samarinda.

Overal Accuracy (OA) = $\frac{X}{N}$ x 100%

Overal Accuracy (OA)

= $\frac{255}{271}$ x 100% = 94.10%

Overall accuracy menunjukkan tingkat kepercayaan hasil interpretasi citra Spot 6 secara keseluruhan. Keberagaman kelas penggunaan lahan Kota Samarinda dan hasil perhitungan *overall accuracy*nya yaitu 94.10% menunjukkan bahwa hasil interpretasi dapat diterima. Hal ini sejalan dengan pendapat bahwa data hasil interpretasi citra satelit pada wilayah yang beragam dengan ketelitian 85% sudah dapat diterima (Lillesand, *et al*., 1993). Sehingga selanjutnya hasil interpretasi citra ini dapat digunakan sebagai bahan untuk membuat model skenario penggunaan lahan Kota Samarinda tahun 2034.

Model skenario penggunaan lahan tahun 2034 dilakukan dengan menggunakan pemodelan *Celluar Automata-Markov Chain*. Hasil skenario ini didapatkan dengan menggunakan matriks transisi periode tahun 2001-2023 dengan menggunakan persamaan *Celluar Automata-Markov Chain*. Matriks transisi markov tahun 2001-2023 dan vektor peluang terjadinya perubahan setiap kelas penggunaan lahan tahun 2023 disajikan pada Gambar 3.

Given :	Probability of changing to :														
	C1. 1	C1. 2	C1. 3	C1. 4	C1. 5	C1. 6	C1. 7	C1. 8	C1. 9	C1. 10	C1. 11	C1. 12	C1. 13	C1. 14	C1. 15
Class 1	0.8600	0.0075	0.0000	0.0008	0.0000	0.0057	0.0071	0.0050	0.0003	0.0021	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0024
Class 2	0.0000	0.7433	0.0000	0.0000	0.0000	0.0093	0.0056	0.0000	0.0152	0.0014	0.0000	0.0103	0.0000	0.0000	0.0808
Class 3	0.0000	0.0084	0.7960	0.0000	0.0000	0.0064	0.0012	0.0000	0.0027	0.0005	0.0000	0.0328	0.0000	0.0000	0.0368
Class 4	0.0000	0.1155	0.0000	0.8725	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0125	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Class 5	0.0071	0.0071	0.0071	0.0071	0.9000	0.0073	0.0073	0.0073	0.0071	0.0071	0.0071	0.0071	0.0071	0.0071	0.0071
Class 6	0.0000	0.0000	0.1859	0.0000	0.0000	0.7896	0.0000	0.0245	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Class 7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.8095	0.0000	0.1376	0.0000	0.0000	0.0000	0.0529	0.0000	0.0000
Class 8	0.0000	0.0310	0.0000	0.0000	0.0000	0.0063	0.0265	0.7484	0.0952	0.0282	0.0000	0.0644	0.0000	0.0000	0.0000
Class 9	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.7802	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.2190
Class 10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0014	0.0000	0.1413	0.0000	0.8568	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000
Class 11	0.2421	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.7579	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Class 12	0.0000	0.0197	0.0000	0.0000	0.0000	0.0197	0.0197	0.0000	0.0197	0.0197	0.0000	0.8618	0.0000	0.0180	0.0217
Class 13	0.0000	0.0590	0.0000	0.0000	0.0000	0.0215	0.0167	0.0000	0.0851	0.0229	0.0000	0.0000	0.7500	0.0000	0.0448
Class 14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1480	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.8520	0.0000
Class 15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0051	0.0000	0.1615	0.0000	0.0000	0.0000	0.7875

Gambar 3. Matriks Transisi Markov Periode Tahun 2001-2023

Keterangan :

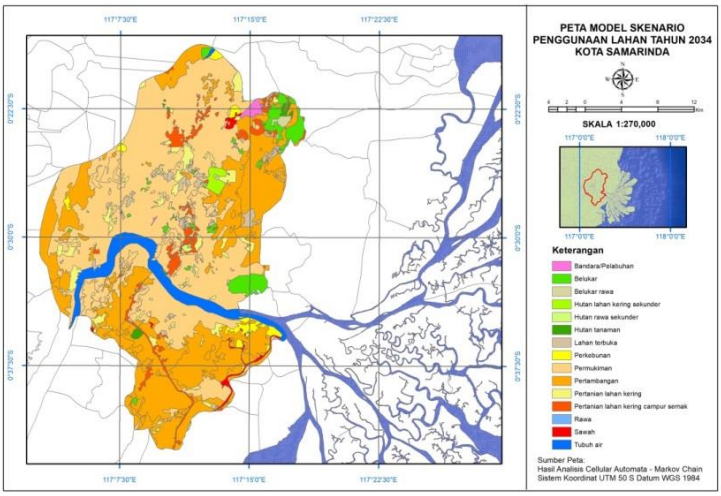
C1.1 atau Class 1 = Bandara/Pelabuhan
C1.2 atau Class 2 = Belukar
C1.3 atau Class 3 = Belukar rawa
C1.4 atau Class 4 = Hutan lahan kering sekunder
C1.5 atau Class 5 = Hutan rawa sekunder
C1.6 atau Class 6 = Hutan tanaman
C1.7 atau Class 7 = Lahan Terbuka
C1.9 atau Class 9 = Permukiman
C1.10 atau Class 10 = Pertambangan
C1.11 atau Class 11 = Pertanian lahan kering
C1.12 atau Class 12 = Pertanian lahan kering campur semak
C1.13 atau Class 13 = Rawa
C1.14 atau Class 14 = Sawah
C1.15 atau Class 15 = Tubuh air

Gambar 3 menunjukkan tingkat *probability* dari matriks transisi markov periode tahun 2001-2023 yaitu rata-rata mendekati 1 atau berada di kisaran 0.70 – 0.89. Hal ini sejalan dengan pernyataan bahwa *probability* yang mendekati 1 maka hal tersebut menunjukkan model tersebut sempurna (Tong & Feng, 2020). Tingkat *probability* merupakan penilaian algoritma klasifikasi penginderaan jauh dengan model skenario penggunaan lahan (Pontius, 2000).

Penelitian lainnya juga menunjukkan bahwa penilaian tingkat *probability* pada matriks transisi dalam model *Celluar Automata-Markov Chain* telah terbukti berguna ((Tayyebi & Pijanowski, 2014); (Shafizadeh-Moghadam, Asghari, Tayyebi, & Taleai, 2017)). Tabel 6 menyajikan perbandingan penggunaan lahan tahun 2030 dan hasil proyeksi penggunaan lahan tahun 2034. Sedangkan di Gambar 6 menyajikan peta Model skenario penggunaan lahan berbasis *Celluar Automata-Markov Chain* tahun 2034 Kota Samarinda.

Tabel 6. Penggunaan Lahan Tahun 2023 dan Hasil Proyeksi Penggunaan Lahan Tahun 2034

No	Kelas Penggunaan Lahan	Tahun 2023		Tahun 2034	
		Luas (Ha)	Luas (%)	Luas (Ha)	Luas (%)
1	Bandara / Pelabuhan	280.58	0.39	998.79	1.38
2	Belukar	15884.30	21.95	1882.84	2.60
3	Belukar rawa	4.79	0.01	3.26	0.00
4	Hutan lahan kering sekunder	795.69	1.10	561.48	0.78
5	Hutan rawa sekunder	10.98	0.02	6.50	0.01
6	Hutan tanaman	1917.44	2.65	241.81	0.33
7	Lahan terbuka	3006.97	4.15	682.36	0.94
8	Perkebunan	52.74	0.07	988.81	1.37
9	Permukiman	13528.78	18.69	26555.71	36.69
10	Pertambangan	14129.12	19.52	16317.46	22.55
11	Pertanian lahan kering	8980.17	12.41	9744.78	13.46
12	Pertanian lahan kering campur semak	10410.39	14.38	11767.43	16.26
13	Rawa	65.66	0.09	24.92	0.03
14	Sawah	650.45	0.90	465.72	0.64
15	Tubuh air	2655.39	3.67	2131.56	2.95
Total		**72373.43**	**100.00**	**72373.43**	**100.00**



Gambar 4. Peta Model Skenario Penggunaan Lahan Berbasis *Celluar Automata Markov Chain* Tahun 2034 Kota Samarinda

Model skenario penggunaan lahan berbasis *Celluar Automata-Markov Chain* menunjukkan bahwa di tahun 2034 Kota Samarinda mengalami peningkatan dan penurunan luasan di beberapa penggunaan lahan. Peningkatan luasan penggunaan lahan yang signifikan bertambah yaitu permukiman (tahun 2023 seluas 13528.78 ha menjadi 26555.71 ha), pertambangan (tahun 2023 seluas 14129.12 ha menjadi 16317.46 ha), pertanian lahan kering campur semak (tahun 2023 seluas 10410.39 ha menjadi 11767.43 ha) dan pertanian lahan kering (tahun 2023 seluas 8980.17 ha menjadi 9744.78 ha). Sedangkan untuk penurunan luasan penggunaan lahan belukar (tahun 2023 seluas 15884.30 ha menjadi 1882.84 ha), lahan terbuka (tahun 2023 seluas 3006.97 ha menjadi 682.36 ha), hutan tanaman (tahun 2023 seluas 1917.44 ha menjadi 241.81 ha), dan tubuh air (tahun 2023 seluas 1917.44 ha menjadi 241.81 ha).

Model skenario penggunaan lahan berbasis *Celluar Automata-Markov Chain* diadopsi untuk melakukan simulasi perubahan penggunaan lahan, yang dapat mendukung perencanaan penggunaan lahan berkelanjutan dan sebagai sistem pendukung keputusan spasial untuk perencanaan kota. Faktor-faktor dalam penelitian ini secara efektif dapat menjelaskan model skenario yang telah ada. Namun faktor-faktor lainnya seperti perubahan kebijakan juga harus ikut berperan dalam mempertimbangkan saat membuat peta model skenario (Hamad, Balzter, & Kolo, 2018).

Kota samarinda menjadi salah satu rencana kota penyanggah Ibu Kota Negara (IKN), sehingga perlu dipertimbangkan dalam perencanaan tata wilayahnya. Pendekatan perencanaan tata wilayah ini berkontribusi pada perencanaan di masa depan yang dapat dibayangkan dan tidak dapat dibayangkan (yang mungkin atau tidak mungkin terjadi), serta gambaran konsekuensi spasial yang mungkin terjadi tentang lingkungan perkotaan, memberikan dukungan dalam pengambilan keputusan antisipatif dalam perencanaan penggunaan lahan.

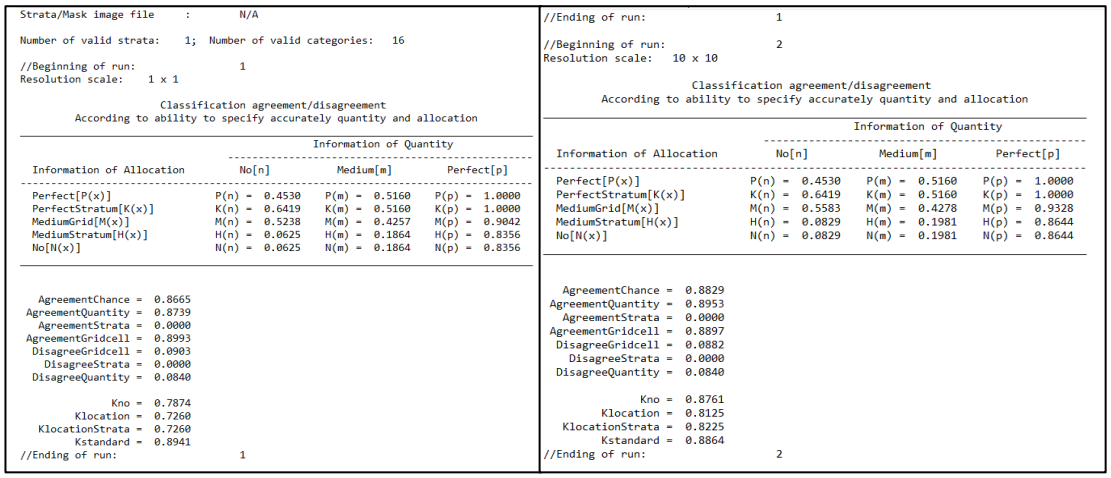
Dalam penelitian ini, permukiman terus mengalami peningkatan luasan yang berdampak pada pesatnya perkembangan perekonomian yang sejalan dengan pertambahan luasan pertambangan dan pertanian di tahun 2034. Oleh karena itu pertimbangan insentif terhadap perubahan penggunaan lahan dari segi pembangunan sosial ekonomi dan konservasi ekologi sangat penting bagi keberlanjutan kawasan pengembangan di masa yang akan datang.

Proses validasi data dilakukan untuk menguji kinerja permodelan *Celluar Automata-Markov Chain* dalam membuat skenario penggunaan lahan tahun 2034. Validasi data dilakukan dengan mengambil range waktu 11 tahun sebelumnya, yaitu peta penggunan lahan tahun 2001 dan peta penggunaan lahan tahun 2012. Selanjutnya dilakukan skenario penggunaan lahan 11 tahun berikutnya yaitu penggunaan lahan tahun 2023 dengan tujuan untuk memperoleh data skenario yang akan digunakan dalam analisis validasi data.

Hasil peta model skenario penggunaan lahan tahun 2023 kemudian dioverlay dengan peta penggunaan lahan tahun 2023. Proses validasi data yang dilakukan ini menggunakan dua tingkat resolusi yang berbeda, dengan tujuan untuk melihat nilai perbandingan akurasi (Trisasongko, Panuju, Iman, Harimurti, Ramly, & Subroto, 2009). Uji akurasi dilakukan pada resolusi detail (1 m x 1 m) dan agregat (10 m x 10 m). Hasil uji akurasi pada resolusi detail (1 m x 1 m) disajikan pada Gambar 7a.

Berdasarkan Gambar 7a menunjukkan bahwa nilai *Kno* merupakan nilai yang menunjukkan proporsi yang diprediksi dengan tingkat kebenaran relatif sebesar 0.78. *Klocation* 0.73 menunjukkan tingkat kemampuan suatu model untuk mengalokasikan selnya dengan benar atau sempurna. *Kstandart* menunjukkan nilai statistik yang menguji reabilitas antara yang aktual dan skenario di tahun 2023 yang proporsi penilaiannya aktual. Adapun *Kstandart* untuk diresolusi detail 1 m x 1m yaitu 0.89. Sedangkan untuk uji agregat 10 m x 10 m disajikan pada Gambar 7b.

Berdasarkan Gambar 7b menunjukkan bahwa nilai *Kno* sebesar 0.87, *Klocation* sebesar 0.81 dan *Kstandart* untuk diresolusi detail 5 m x 5 m yaitu 0.89. Hal ini menunjukkan bahwa hasil validasi model skenario penggunaan lahan berbasis *Celluar Automata-Markov Chain* yang diambil pada masing-masing tingkat akurasu memiliki nilai yang berimbang. Sehingga karena nilai *Kstandart* dari uji akurasi detail dan agregat lebih besar dari 80% maka tingkat validasinya hampir sempurna. Hal ini sejalan pernyataan jika nilai validasi *Kstandart* 0.0 – 0.20 (sedikit setuju); 0.21-0.40 (setuju wajar); 0.41-0.60 (setuju sedang); 0.61-0.80 (kesepakatan substansial); dan 0.81-1.0 (kesepakatan hampir sempurna) (Tong & Feng, 2020).



Strata/Mask image file : N/A

Number of valid strata: 1; Number of valid categories: 16

//Beginning of run: 1
Resolution scale: 1 x 1

Classification agreement/disagreement
According to ability to specify accurately quantity and allocation

Information of Allocation	Information of Quantity No[n]	Medium[m]	Perfect[p]
Perfect[P(x)]	P(n) = 0.4530	P(m) = 0.5160	P(p) = 1.0000
PerfectStratum[K(x)]	K(n) = 0.6419	K(m) = 0.5160	K(p) = 1.0000
MediumGrid[M(x)]	M(n) = 0.5238	M(m) = 0.4257	M(p) = 0.9042
MediumStratum[H(x)]	H(n) = 0.0625	H(m) = 0.1864	H(p) = 0.8356
No[N(x)]	N(n) = 0.0625	N(m) = 0.1864	N(p) = 0.8356

AgreementChance = 0.8665
AgreementQuantity = 0.8739
AgreementStrata = 0.0000
AgreementGridcell = 0.8993
DisagreeGridcell = 0.0903
DisagreeStrata = 0.0000
DisagreeQuantity = 0.0840

Kno = 0.7874
Klocation = 0.7260
KlocationStrata = 0.7260
Kstandard = 0.8941
//Ending of run: 1

(a)

//Ending of run: 1

//Beginning of run: 2
Resolution scale: 10 x 10

Classification agreement/disagreement
According to ability to specify accurately quantity and allocation

Information of Allocation	Information of Quantity No[n]	Medium[m]	Perfect[p]
Perfect[P(x)]	P(n) = 0.4530	P(m) = 0.5160	P(p) = 1.0000
PerfectStratum[K(x)]	K(n) = 0.6419	K(m) = 0.5160	K(p) = 1.0000
MediumGrid[M(x)]	M(n) = 0.5583	M(m) = 0.4278	M(p) = 0.9328
MediumStratum[H(x)]	H(n) = 0.0829	H(m) = 0.1981	H(p) = 0.8644
No[N(x)]	N(n) = 0.0829	N(m) = 0.1981	N(p) = 0.8644

AgreementChance = 0.8829
AgreementQuantity = 0.8953
AgreementStrata = 0.0000
AgreementGridcell = 0.8897
DisagreeGridcell = 0.0882
DisagreeStrata = 0.0000
DisagreeQuantity = 0.0840

Kno = 0.8761
Klocation = 0.8125
KlocationStrata = 0.8225
Kstandard = 0.8864
//Ending of run: 2

(b)

Gambar 5. (a) Uji Akurasi Detail (1 m x 1 m); (b) Uji Akurasi Agregat (5 m x 5 m)

Dari pemodelan CA-Markov, perubahan LULC akan terjadi di masa depan. Analisis terperinci dalam penelitian ini akan sangat berguna sebagai data dasar informasi untuk membantu perencana kota dan pemerintah daerah untuk perencanaan masa depan dan pengembangan serta pengetahuan teknis tentang perubahan lanskap.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Model skenario penggunaan lahan berbasis *Celluar Automata-Markov Chain* menunjukkan bahwa di tahun 2034 Kota Samarinda mengalami peningkatan dan penurunan luasan di beberapa penggunaan lahan. Peningkatan luasan penggunaan lahan yang signifikan bertambah yaitu permukiman, pertambangan, pertanian lahan kering campur semak, dan pertanian lahan kering. Dari pemodelan CA-Markov,

perubahan LULC akan terjadi di masa depan. Analisis terperinci dalam penelitian ini akan sangat berguna sebagai data dasar informasi untuk membantu perencana kota dan pemerintah daerah untuk perencanaan masa depan dan pengembangan serta pengetahuan teknis tentang perubahan lanskap

Saran

Adanya kontrol tata ruang sangat diperlukan, agar perubahan penggunaan lahan terutama pada penggunaan lahan permukiman, pertambangan, pertanian lahan kering campur semak, dan pertanian lahan kering. Disamping itu, laju pertumbuhan penduduk sebaiknya ditekan karena dapat mempengaruhi terjadinya probabilitas perubahan penggunaan lahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada Direktur Politeknik Pertanian Negeri Samarinda melalui Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Politeknik Pertanian Negeri Samarinda yang telah memberikan pendanaan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Aburas, M. M., Ho, Y. M., Ramli, M. F., & Ash'aari, Z. H. 2017. Improving the capability of an integrated CA-Markov model to simulate spatio-temporal urban growth trends using an Analytical Hierarchy Process and Frequency Ratio. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *59*: 65–78.

Berihun, M. L., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Meshesha, D. T., Adgo, E., Tsubo, M., & Yibeltal, M. 2019. Exploring land use/land cover changes, drivers and their implications in contrasting agro-ecological environments of Ethiopia. *Land use policy*, *87*: 104052.

BPS. 2002. Samarinda dalam Angka 2002. Bappeda Kota Samarinda dengan BPS Kota Samarinda. Samarinda.

BPS. 2013. Samarinda dalam Angka 2013. BPS Kota Samarinda. Samarinda.

BPS. 2023. Samarinda dalam Angka 2023. BPS Kota Samarinda. Samarinda.

Gaur, S., Mittal, A., Bandyopadhyay, A., Holman, I., & Singh, R. 2020. Spatio-temporal analysis of land use and land cover change: a systematic model inter-comparison driven by integrated modelling techniques. *International Journal of Remote Sensing*, *41*(23): 9229–9255.

Hamad, R., Balzter, H., & Kolo, K. 2018. Predicting land use/land cover changes using a CA-Markov model under two different scenarios. *Sustainability*, *10*(10): 3421.

Kardika, A. J., Jaya, I. N. S., Puspaningsih, N., & Mulia, F. 2018. Growth-site quality assessment of nypa fruticans using unmanned aerial vehicles images: A case study in kubu raya regency, west kalimantan province. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, *9*(2): 502–511.

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Dulbahri, Suharsono, P., Hartono, Suharyadi, & Sutanto. 1993. *Penginderaan jauh dan interpretasi citra*. Gadjah Mada University.

Lin, A., Wu, H., Liang, G., Cardenas-Tristan, A., Wu, X., Zhao, C., & Li, D. 2020. A big data-driven dynamic estimation model of relief supplies demand in urban flood disaster. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *49*(November 2019): 101682.

Liu, X., Liang, X., Li, X., Xu, X., Ou, J., Chen, Y., Li, S., Wang, S., & Pei, F. 2017. A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects. *Landscape and Urban Planning*, *168*(September): 94–116.

Liverman, D. M., & Cuesta, R. M. R. 2008. Human interactions with the Earth system: people and pixels revisited. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, *33*(9); 1458-1471.

Li, X., Lin, J., Chen, Y., Liu, X., & Ai, B. 2013. Calibrating cellular automata based on landscape metrics by using genetic algorithms. *International Journal of Geographical Information Science*, *27*(3): 594–613.

Meshesha, D. T., Tsunekawa, A., Tsubo, M., Ali, S. A., & Haregeweyn, N. 2014. Land-use change and its socio-environmental impact in Eastern Ethiopia's highland. *Regional environmental change*, *14*: 757-768.

Nath, B., Wang, Z., Ge, Y., Islam, K., Singh, R. P., & Niu, Z. 2020. Land use and land cover change modeling and future potential landscape risk assessment using Markov-CA model and analytical hierarchy process. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *9*(2).

Pontius Jr, R. G. 2000. Comparison of categorical maps. *Photogramm. Eng. Remote Sens*, *66*(20): 0.

Saeedi, S. 2018. Integrating macro and micro scale approaches in the agent-based modeling of residential dynamics. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *68*(January): 214–229.

Shafizadeh-Moghadam, H., Asghari, A., Tayyebi, A., & Taleai, M. 2017. Coupling machine learning, tree-based and statistical models with cellular automata to simulate urban growth. *Computers, Environment and Urban Systems*, *64*: 297-308.

Tan, Z., Guan, Q., Lin, J., Yang, L., Luo, H., Ma, Y., Tian, J., Wang, Q., & Wang, N. 2020. The response and simulation of ecosystem services value to land use/land cover in an oasis, Northwest China. *Ecological Indicators*, *118*(March): 106711.

Tayyebi, A., & Pijanowski, B. C. 2014. Modeling multiple land use changes using ANN, CART and MARS: Comparing tradeoffs in goodness of fit and explanatory power of data mining tools. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *28*: 102-116.

Tong, X., & Feng, Y. 2020. A review of assessment methods for cellular automata models of land-use change and urban growth. *International Journal of Geographical Information Science*, *34*(5): 866–898.

Trisasongko, B. H., Panuju, D. R., Iman, L. S., Harimurti, A. F., Ramly, V. A., & Subroto, H. 2009. Analisis dinamika konversi lahan di sekitar jalur tol cikampek. *Publikasi Teknis DATIN. Kementrian Negara Lingkungan Hidup, Jakarta*.

Valencia, V. H., Levin, G., & Hansen, H. S. 2020. Modelling the spatial extent of urban growth using a cellular automata-based model: a case study for Quito, Ecuador. *Geografisk Tidsskrift - Danish Journal of Geography* , *120*(2): 156–173.

Wang, H., Stephenson, S. R., & Qu, S. 2019. Modeling spatially non-stationary land use/cover change in the lower Connecticut River Basin by combining geographically weighted logistic regression and the CA-Markov model. *International Journal of Geographical Information Science*, *33*(7): 1313–1334.

Wang, Q., Guan, Q., Lin, J., Luo, H., Tan, Z., & Ma, Y. 2021. Simulating land use/land cover change in an arid region with the coupling models. *Ecological Indicators*, *122*: 107231.

Wei, H., Deng, Y., Lin, L., Wang, J., & Huang, J. 2023. Improved soil composition promotes nutrient recovery during vegetation restoration in karst peak-cluster depressions. *Catena*, *222*: 106769.

Warsilan, W. 2019. Dampak Perubahan Guna Lahan Terhadap Kemampuan Resapan Air (Kasus: Kota Samarinda). *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, *15*(1): 70.