

Prediksi Perubahan Tutupan Lahan di Kecamatan Sirimau, Kota Ambon Menggunakan *Cellular Automata-Markov Chain*

Nadhi Sugandhi^{1,2*}, Supriatna¹, Eko Kusratmoko¹, Heinrich Rakuasa¹

¹Departemen Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

²Unit Pengelola Penelitian, Pengujian dan Pengukuran Sumber Daya Air, Dinas Sumber Daya Air, Provinsi DKI Jakarta

*nadhi.sugandhi@ui.ac.id

Abstract

Sirimau District has the largest population in Ambon City which has an impact on the need for higher residential land, this will certainly affect uncontrolled land cover changes and have an impact on land conversion and environmental damage. This study aims to analyze land cover changes in Sirimau District in 2012, 2017, and 2022, and predict land cover in 2031. This study uses the Cellular Automata Markov Chains (CA-MC) method. The results showed that in the period 2012-2031 the area of residential land cover and open land continued to increase along with the increase in population and the high need for built-up land. In contrast to the land cover of agricultural areas and non-agricultural areas, which experienced a decrease in area. The results of the research are expected to be used as a basis for making policies related to the arrangement and good use of space in the future

Keywords: *Cellular Automata, Markov Chains, Land Cover*

Abstrak

Kecamatan Sirimau memiliki jumlah penduduk terbanyak di Kota Ambon yang berdampak pada kebutuhan terhadap lahan permukiman yang semakin tinggi meningkat, hal ini tentu akan mempengaruhi perubahan tutupan lahan yang tidak terkendali serta berdampak pada alih fungsi lahan dan kerusakan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan Kecamatan Sirimau pada tahun 2012, 2017 dan 2022, serta memprediksi tutupan lahan tahun 2031. Penelitian ini menggunakan metode *Cellular Automata Markov Chains (CA-MC)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada periode 2012-2031 luasan jenis tutupan lahan permukiman dan lahan terbuka terus bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan tingginya kebutuhan akan lahan terbangun. Berbeda dengan tutupan lahan daerah pertanian dan bukan daerah pertanian yang mengalami penurunan luasan. Hasil penelitian diharapkan dapat dijadikan dasar dalam pengambilan kebijakan terkait penataan dan pemanfaatan ruang yang baik kedepannya

Kata Kunci: *Cellular Automata, Markov Chains, Tutupan Lahan*

DOI: [10.20527/jpg.v9i2.13880](https://doi.org/10.20527/jpg.v9i2.13880)

Received : 11 Juli 2022; **Accepted :** 22 Agustus 2022; **Published :** 18 September 2022

How to cite: Sugandhi, N., Supriatna, Kusratmoko, N., Rakuasa, H. (2022). Prediksi Perubahan Tutupan Lahan di Kecamatan Sirimau, Kota Ambon Menggunakan *Cellular Automata-Markov Chain*. *JPG (Jurnal Pendidikan Geografi)*, Vol. 9 No. 2.

<http://dx.doi.org/10.20527/jpg.v9i2.13880>

© 2022 JPG (Jurnal Pendidikan Geografi)

**Corresponding Author*

1. Pendahuluan

Perubahan tutupan lahan sangat berpengaruh signifikan terhadap perencanaan pengembangan wilayah dan juga terhadap fungsi ekosistem di semua skala spasial, dari global hingga lokal (Talukdar et al., 2021), oleh sebab itu penting untuk memahami hubungan antara fenomena sosial dan alam (Rienow et al., 2022), terutama di wilayah perkotaan untuk meningkatkan keberlanjutan lanskap yang dinamis dan untuk memprediksi efek perencanaan penggunaan lahan (Mallick, 2021).

Pertumbuhan penduduk di Kecamatan Sirimau yang terus meningkat seiring dengan pembangunan disegala bidang mengakibatkan timbulnya masalah baru, yaitu bertambahnya kebutuhan permukiman penduduk sebagai tuntutan kebutuhan hidup di samping kebutuhan sandang dan pangan. Peningkatan jumlah penduduk sejalan dengan Peningkatan kegiatan manusia diberbagai sektor terutama sektor ekonomi, sehingga kebutuhan akan sumberdaya lahan juga akan meningkat, sedangkan keberadaan lahan yang tetap (He et al., 2018) dan pada akhirnya akan mengurangi daya dukung lahan permukiman (Utami et al., 2019; Salakory & Rakuasa, 2022). Hal ini akan menyebabkan meningkatnya persaingan dalam penggunaan lahan, sehingga kebutuhan ekonomi dan sosial akan selalu menjadi prioritas dalam perubahan penggunaan lahan. Oleh karena itu, pemanfaatan dan efisiensi tutupan lahan perkotaan harus ditingkatkan berdasarkan perencanaan tutupan lahan yang rasional dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (Tian et al., 2016). sehingga perlu adanya peningkatan dan pengelolaan potensi pengembangan wilayah (Mohamed & Worku, 2019).

Kecamatan Sirimau yang berada di pusat Kota Ambon serta merupakan kecamatan yang memiliki jumlah penduduk terbanyak di Kota Ambon membuat kebutuhan terhadap lahan terbangun/permukiman akan semakin meningkat, hal ini tentu akan mempengaruhi perubahan tutupan lahan/penggunaan lahan di Kecamatan Sirimau, terutama konversi tutupan lahan lainnya menjadi lahan permukiman (Salakory & Rakuasa, 2022). Hal ini didukung oleh pendapat dari Villarreal-Rosas et al., (2022), yang menyatakan bahwa peningkatan jumlah penduduk di daerah perkotaan sejalan dengan terus meningkatnya kegiatan manusia di berbagai sektor terutama sektor ekonomi mengakibatkan kebutuhan akan sumberdaya lahan semakin meningkat yang mengakibatkan terjadinya perubahan penggunaan lahan/tutupan lahan yang tidak terkendali serta berdampak pada alih fungsi lahan Rakuasa et al., (2022) , kerusakan lingkungan (Balist et al., 2021; Rakuasa et al., 2022) dan perubahan iklim (Mwabumba et al., 2022). Perubahan tutupan lahan yang terjadi di Kecamatan Sirimau adalah sebagai wujud dari proses interaksi yang dinamis antara aktifitas manusia dengan sumberdaya lahan, yang terdistribusi secara spasial temporal.

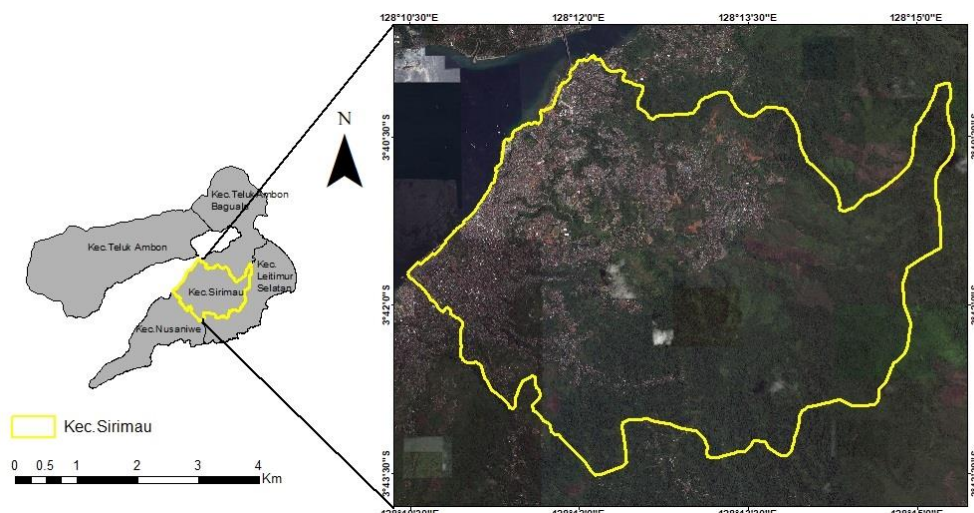
Penelitian sebelumnya tentang perubahan tutupan lahan di Kecamatan Sirimau sudah dilakukan oleh Laka et al., (2017), namun penelitian ini hanya menganalisis perubahan tutupan lahan yang terjadi pada tahun 2006 dan 2016 tanpa melakukan prediksi perubahan kedepannya. Penelitian menawarkan sesuatu yang baru yaitu dimana penelitian ini bukan hanya menganalisis perubahan tutupan lahan tahun 2012, 2017 dan 2022 tetapi juga memprediksi tutupan lahan lahan di tahun 2031. Oleh karena itu, pemanfaatan dan efisiensi tutupan lahan perkotaan harus ditingkatkan berdasarkan perencanaan tutupan lahan yang rasional dengan tujuan pembangunan berkelanjutan

(Sun et al., 2022). sehingga perlu adanya peningkatan dan pengelolaan potensi pengembangan wilayah (Mohamed & Worku, 2019). Karena salah satu kunci pembangunan berkelanjutan di kawasan perkotaan adalah perencanaan dan penataan ruang yang sesuai dengan regulasi yang sudah dibuat serta berdasar pada konsep *Sustainable Development Goals* (SDGs) (Liu, 2020).

Penelitian ini menggunakan pemodelan *Cellular Automata Markov Chains* (CA-MC) yang diyakini merupakan pemodelan yang paling andal, akurat, dan berguna untuk mensimulasikan dan memprediksi perubahan lahan secara spasial dan temporal di masa yang akan datang dengan akurat (Islam et al., 2018; Putri & Supriatna, 2021). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan Kecamatan Sirimau pada tahun 2012, 2017 dan 2022, serta memprediksi tutupan lahan tahun 2031.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Sirimau, yang secara administrasi terdiri dari 7 kelurahan, 2 negeri/desa adat dan 1 desa serta merupakan kecamatan dengan penduduk terbanyak di Kota Ambon dengan jumlah penduduk 146,426 ribu jiwa serta kepadatan penduduk 1.687 jiwa/km². Kecamatan Sirimau memiliki luas wilayah yaitu 3.702,25 ha, (BPS, 2021). Lokasi Penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

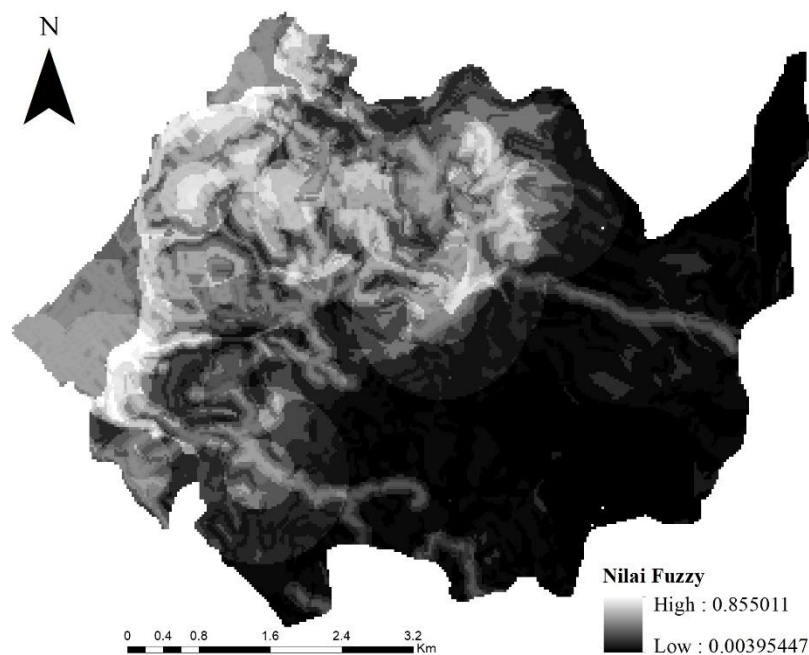
Software yang digunakan untuk pengolahan dan analisis data dalam penelitian ini terdiri dari *software* Arc GIS 10.8 untuk proses pengolahan data tutupan lahan dan *driving factor*, *software* IDRISI Selva untuk pengolahan Model tutupan lahan tahun 2031, *Software* Microsoft Office 365 digunakan untuk proses analisis luasan perkembangan tutupan lahan. Pengolahan data citra multi temporal yakni citra Landsat tahun 2012, 2017 dan 2022 yang sudah diunduh dari USGS kemudian dilakukan proses koreksi radiometrik dengan tujuan untuk membuat piksel yang ada pada citra berada pada kondisi yang baik untuk dapat diinterpretasi jenis tutupan lahannya (Sukojo et al, 2017) dan koreksi geometrik dilakukan untuk meminimalisir kesalahan geometrik pada citra saat perekaman gelombang (Sukojo et al, 2017). Kemudian citra tersebut dipotong berdasarkan batas administrasi Kecamatan Sirimau. Setelah ketiga citra tersebut dilakukan kombinasi band guna mempermudah proses interpretasi dan digitasi, untuk citra Landsat 5 menggunakan kombinasi band 321 dan Landsat 8 menggunakan

band 432, setelah itu dilakukan proses digitasi di *software* Arc GIS 10.8 dengan mengacu pada SNI 7465:2010 (Badan Standarisasi Nasional, 2010), yaitu permukiman, lahan terbuka, daerah pertanian, daerah bukan pertanian, dan perairan.

Tabel 1. Klasifikasi *Driving Factor*

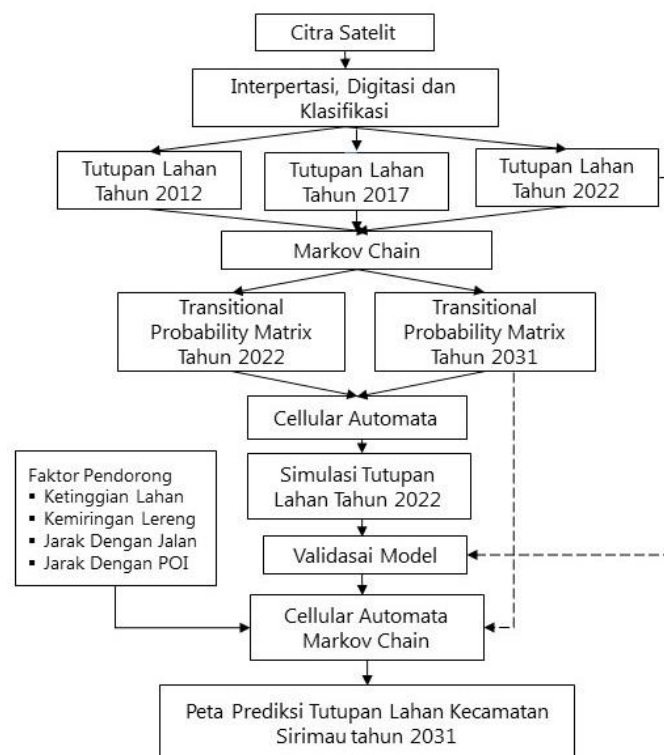
NO	Parameter	Kelas	Skor	Kesesuaian
1	Ketinggian Lahan	0-7 m dpl	1	Tidak Sesuai
		8-25 m dpl	3	Sangat Sesuai
		26-100 m dpl	2	Sesuai
		>100 m dpl	1	Tidak Sesuai
2	Kemiringan Lereng	0-3 %	3	Sangat Sesuai
		4-15 %	2	Sesuai
		>15 %	1	Tidak Sesuai
3	Jarak dari Jalan	0-100 m	3	Sangat Sesuai
		101-1000 m	2	Sesuai
		> 1000 m	1	Tidak Sesuai
4	Jarak dari POI	<400 m	3	Sangat Sesuai
		401-1000 m	2	Sesuai
		>1000 m	1	Tidak Sesuai

Sumber: Lisanyoto et al., 2019, Rakuasa et al., 2022

Gambar 2. Peta Hasil *Overlay Driving Factor*

Pengolahan data *driving factor* yang terdiri dari ketinggian lahan, kemiringan lereng, jarak dari jalan dan jarak dari *Point of interest* (POI) yang terdiri dari jarak dari fasilitas kesehatan dan fasilitas pendidikan. Pengolahan data *driving factor* tersebut diklasifikasi dan pembobotan berdasarkan tingkat kesesuaian pemukiman sebelum diubah kedalam nilai *Fuzzy*. Keseluruhan data *driving factor* kemudian dioverlay menggunakan *tools fuzzy overlay*. *Fuzzy* adalah logika sistem yang bertujuan untuk melakukan formalisasi dari perkiraan terhadap penalaran yang direpresentasikan dalam bentuk kadar kepentingan yang memiliki rentang nilai 0-1 (*Boolean*) (Zadeh, 1994).

Logika *fuzzy* yang digunakan adalah logika besar, yang berarti skor besar akan menunjukkan tingkat kepentingan yang besar pula, semakin putih nilai *fuzzy* (mendekati 1) maka akan semakin sesuai dan semakin hitam nilai *fuzzy* (mendekati 0) semakin tidak sesuai (Lisanyoto et al., 2019). Peter et al., (2021) berpendapat bahwa logika *Fuzzy* merupakan alat yang sangat baik untuk menafsirkan data kontinu secara efektif dan efisien, ini merupakan cara yang baik untuk melakukan pemodelan berbasis *cellular automata* karena menggunakan komputasi paralel yang terdiri atas unit (sel) yang saling terkoneksi dan memiliki nilai kontinu. Klasifikasi tingkat kesesuaian setiap *driving factor* dapat dilihat pada Tabel 1 dan Keseluruhan *driving factor* yang telah dioverlay dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 3. Alur Kerja Penelitian

Pembuatan model tutupan lahan tahun 2031 dilakukan dengan menggunakan tools LCM (*Land Change Modeller*), *Markov*, *CA Markov* dan *Validate* disoftware IDRISI Selva. Metode yang digunakan untuk pembuatan model tutupan lahan tahun 2031 yaitu metode *Cellular Automata Markov Chain* merupakan salah satu model hybrid yang umum digunakan untuk memprediksi perubahan tutupan lahan berbasis sistem informasi geografis. *Cellular Automata Markov Chain* menggabungkan dua metode yang berbeda yaitu *Markov Chain*, yang merupakan model empiris / statistik, sedangkan *Cellular Automata* merupakan model dinamis yang dimasukkan dalam platform GIS (Marko et al., 2016). Setelah model dihasilkan maka dilakukan pengujian akurasi model menggunakan perhitungan *K-standard* (*Kappa Coefficient*) menggunakan tools *Validate* di software IDRISI Selva. Jika hasil akurasi simulasi tercapai > 75 % maka tidak perlu dilakukan pengulangan proses akurasi dan dapat dilanjutkan ke proses pemodelan selanjutnya (Supriatna et al., 2016). Selengkapnya alur kerja penelitian dapat dilihat pada Gambar 3

3. Hasil Dan Pembahasan

A. Tutupan Lahan Tahun 2012, 2017 dan 2022

Perkembangan tutupan lahan di Kecamatan Sirimau pada tahun 2012, 2017 dan 2022 menunjukkan peningkatan pada jenis tutupan lahan permukiman dan lahan terbuka, sedangkan jenis tutupan lahan daerah pertanian dan tutupan lahan daerah bukan pertanian mengalami penurunan luasan, hal ini dipengaruhi oleh terus meningkatnya jumlah penduduk yang bermukim di Kecamatan Sirimau yang membuat kebutuhan terhadap lahan terbangun/permukiman semakin tinggi yang membuat terjadinya konversi tutupan lahan lainnya menjadi tutupan lahan permukiman Laka et al., (2017). Secara spasial, tutupan lahan Kecamatan Sirimau tahun 2012, 2017 dan 2022 dapat dilihat pada Gambar 4 dan luas setiap kelas tutupan lahan dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 4. Peta Tutupan Lahan Kecamatan Sirimau tahun 2012, 2017 dan 2022

Tabel 2. Luasan Tutupan Lahan Kecamatan Sirimau Tahun 2012, 2017 dan 2022 (ha)

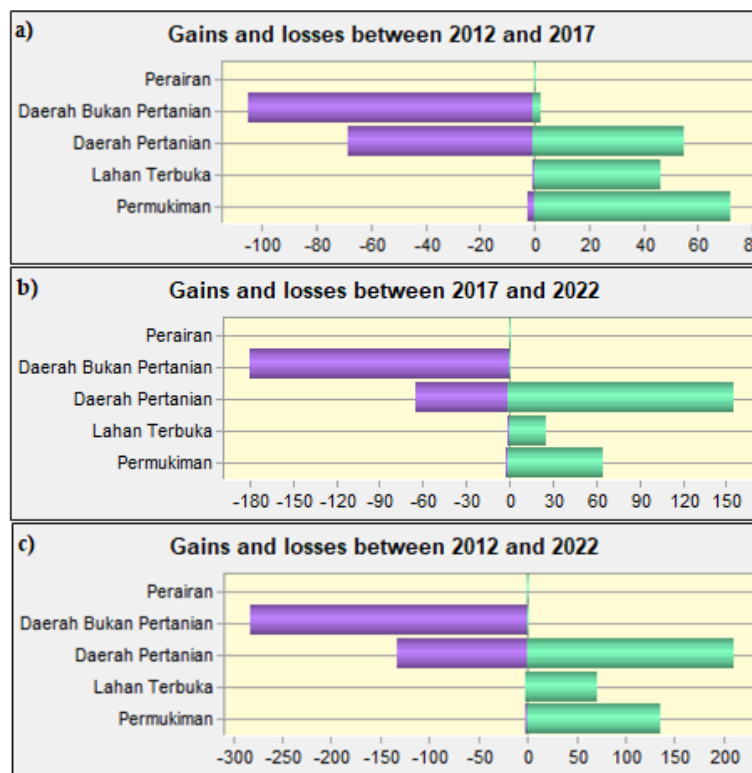
Kelas Tutupan Lahan	Tahun 2012	Tahun 2017	Tahun 2022
Permukiman	1.011,71	1.084,28	1.205,34
Lahan Terbuka	68,67	114,58	140,58
Daerah Pertanian	915,79	900,84	934,41
Daerah Bukan Pertanian	1.684,54	1.581,01	1.400,38
Perairan	21,54	21,54	21,54
Total Luas		3.702,25	

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 4 terlihat bahwa perubahan tutupan lahan tahun 2012, 2017 dan 2022 di Kecamatan Sirimau mengalami peningkatan pada tutupan lahan permukiman dan tutupan lahan terbuka, sedangkan tutupan lahan yang mengalami penurunan yaitu tutupan lahan daerah pertanian dan tutupan lahan bukan daerah pertanian. Kemudian tutupan lahan yang tidak mengalami perubahan hanya tutupan lahan perairan. Perkembangan tutupan lahan permukiman paling banyak mengarah pada utara dan barat. Laju pertumbuhan penduduk Kota Ambon tiap tahun dan juga didukung dari semakin meningkatnya arus migrasi akibat tingginya daya tarik kota terutama sektor ekonomi bagi penduduk di wilayah sekitarnya mengakibatkan terus tingginya kebutuhan akan ruang kota, antara lain untuk permukiman, fasilitas kesehatan, fasilitas pendidikan, fasilitas perdagangan, jasa dan sebagainya menjadi salah satu factor yang memicu perubahan tutupan di Kecamatan Sirimau. Hal ini didukung oleh pendapat dari Zheng et al., (2021) yang berpendapat bahwa perpindahan penduduk dari pedesaan ke perkotaan, membawa perubahan substansial dan beragam ke lahan

perkotaan, baik dalam penggunaan lahan dan tutupan lahan. He et al., (2018) juga menambahkan bahwa peningkatan jumlah penduduk sejalan dengan peningkatan kegiatan manusia diberbagai sektor terutama sektor ekonomi, sehingga kebutuhan akan sumberdaya lahan juga akan terus meningkat.

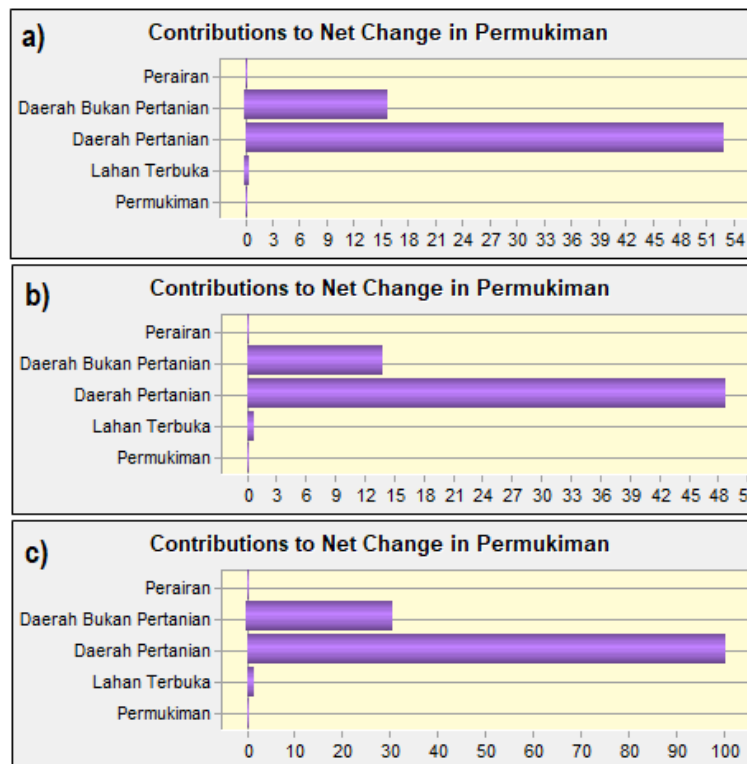
B. Konversi Tutupan Lahan lain ke lahan Permukiman

Konversi tutupan lahan yang terjadi di Kecamatan Sirimau pada periode 2012-2017 menunjukkan bahwa pada tutupan lahan permukiman terjadi peningkatan luasan sebesar 72,57 ha dan jenis tutupan lahan terbuka mengalami peningkatan sebesar 45,91 ha. Penurunan terbesar terjadi pada tutupan lahan daerah bukan pertanian dengan penurunan sebesar 103,53 ha, disusul oleh tutupan lahan pertanian yaitu mengalami penurunan sebesar -14,95 ha dan jenis tutupan lahan badan air tidak mengalami peningkatan luasan (Gambar 5a).



Gambar 5. Kenaikan dan Penurunan Luasan Tutupan lahan periode, a) 2012-2017, b) 2017-2022, c) 2012-2022 (dalam ha)

Pada periode 2017-2022 terjadi peningkatan terbesar pada tutupan lahan permukiman sebesar 121,06 ha dan jenis tutupan lahan terbuka sebesar 26,00 ha. Penurunan terbesar terjadi pada tutupan lahan bukan pertanian sebesar 1.357.68 ha dan jenis tutupan lahan pertanian 33,57 ha sedangkan jenis tutupan lahan badan air tidak mengalami peningkatan maupun penurunan luasan (Gambar 5b).



Gambar 6. Kontribusi Tutupan Lahan Lain ke Lahan Permukiman tahun a) 2012-2017, b) 2017-2022, c) 2017-2022 (dalam ha)

Kemudian pada Gambar 5c menunjukkan kenaikan dan penurunan selama periode 2012-2022, dari gambar tersebut menunjukkan bahwa tutupan lahan permukiman mengalami peningkatan sebesar 19,63 ha sedangkan penurunan terbesar pada jenis tutupan lahan bukan pertanian sebesar -284,16 ha. Pada periode pertama (2012-2012), daerah pertanian merupakan kontributor terbesar dalam konversi tutupan lahan ke permukiman yaitu sebesar 53 ha, kemudian disusul oleh tutupan lahan daerah bukan pertanian yang berkurang seluas 16 ha (Gambar 6a), kemudian pada periode kedua (2017-2022) kontribusi terbesar masih pada tutupan lahan daerah pertanian yaitu sebesar 49 ha, dan masih disusul oleh tutupan lahan daerah bukan pertanian yang berkurang sebesar 14 ha (Gambar 6b). Pada Gambar (Gambar 6c) terlihat bahwa kontribusi terbesar pada penambahan luasan tutupan lahan permukiman selama 15 tahun terakhir adalah tutupan lahan daerah pertanian seluas 101 ha, dan disusul oleh tutupan lahan daerah bukan pertanian yang berkurang seluas 31 ha.

C. Simulasi Tutupan Lahan Tahun 2022

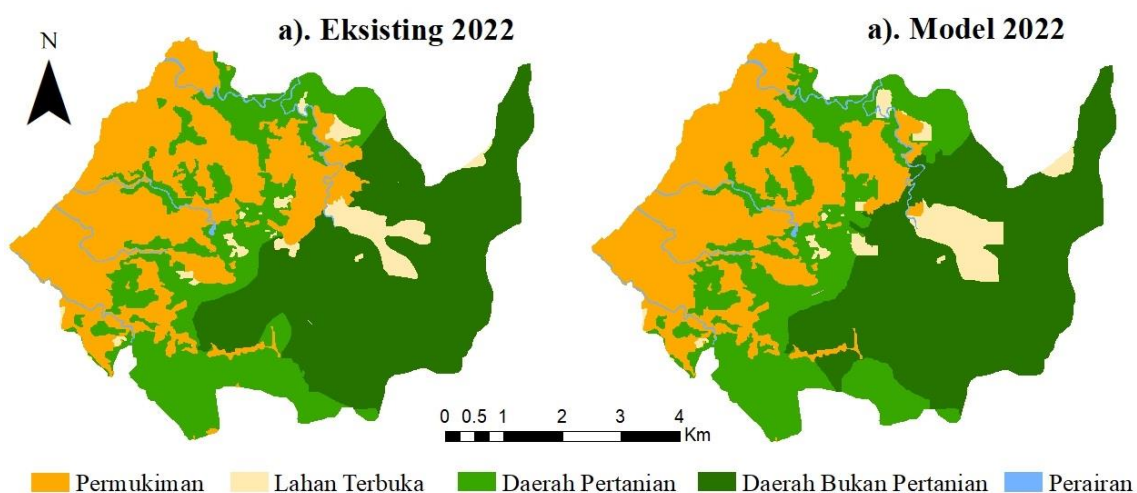
Simulasi pada penelitian ini dilakukan dua kali. Simulasi pertama untuk melihat akurasi dari faktor penggerak yang diberikan kepada model, bertujuan untuk melihat ketepatan pemilihan faktor penggerak, pada simulasi pertama ini akan menghasilkan nilai akurasi (Nilai *Kappa*) sehingga dapat diketahui apakah faktor penggerak pada simulasi pertama dapat digunakan pada simulasi kedua. Simulasi kedua dilakukan untuk melihat kondisi tutupan lahan pada tahun 2031 dengan menggunakan faktor penggerak yang sama dengan simulasi pertama, dan kedua simulasi ini akan sama-sama menghasilkan model yang berfokus kepada perkembangan tutupan lahan dari permukiman Kecamatan Sirimau.

Simulasi tahun 2022 dilakukan dengan CA- Markov dengan menggunakan *driving factors* yang telah dibuat sebelumnya. Kemungkinan untuk terjadi atau tidaknya suatu perubahan diketahui dari nilai markovian (*Markov Chains Value*) atau *Trasition Probability Matrix* (TPM). Besaran angka pada TPM menunjukkan kemungkinannya sebuah tutupan lahan berubah menjadi tutupan lahan lainnya. Besaran TPM pada simulasi tahun 2022 ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. *Transitional Probability Matrix* ke Tahun 2021

	Permukiman	Lahan Terbuka	Daerah Pertanian	Daerah Bukan Pertanian	Perairan
Permukiman	0.8479	0	0	0.1521	0
Lahan Terbuka	0.1436	0.8404	0	0.0160	0
Daerah Pertanian	0.1657	0.0471	0.7867	0.0005	0
Daerah Bukan Pertanian	0.0357	0.0605	0.1071	0.7968	0
Perairan	0	0	0	0	1

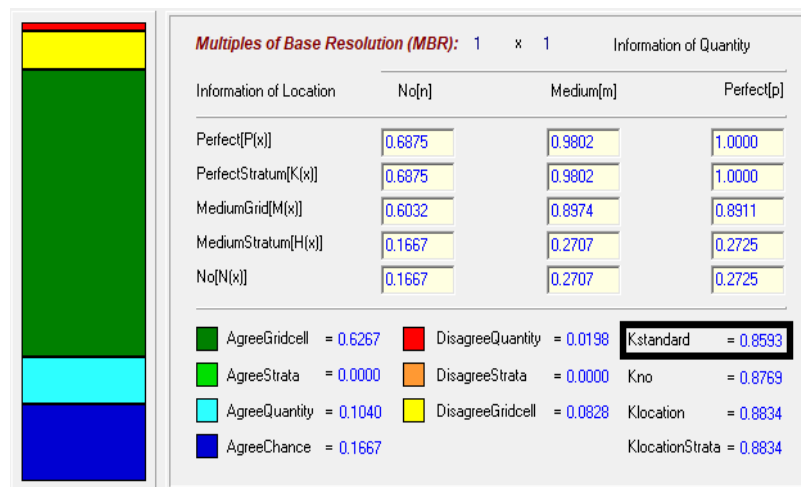
Baris pada *matriks probabilitas* (Tabel 3) menunjukkan asal dari tutupan lahan sedangkan kolom menunjukkan tujuan perubahan tutupan lahan. Tabel 3 menunjukan nilai TPM simulasi tahun 2022, semakin mendekati nilai 1 maka semakin berpotensi untuk berubah menjadi tutupan lahan lain, sedangkan nilai 0 menunjukkan bahwa tidak akan terjadi perubahan tutupan lahan. Nilai TPM terbesar adalah tutupan lahan daerah pertanian sebesar 0.1657, artinya daerah pertanian yang memiliki potensi terbesar untuk berubah menjadi lahan permukiman sedangkan tutupan lahan perairan memiliki nilai TPM yaitu 0 yang artinya tidak akan berubah menjadi jenis tutupan lahan lainnya. Hasil simulasi tutupan lahan tahun 2022 dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Peta Tutupan lahan a) eksisting 2022 dan b) model 2022

Pada Gambar 8 tentang validasi prediksi model dengan uji *kappa* terlihat bahwa terdapat nilai Kstandard, nilai tersebut menunjukkan tingkat akurasi dari model yang telah dibuat. Pada penelitian ini, nilai Kstandard menunjukkan hasil sebesar 0,8593 atau 85,93% yang berarti tingkat akurasi tergolong sangat baik karena hasilnya >75% (Ghosh et al., 2017). Hasil uji akurasi yang menunjukkan sangat baik tersebut

menjadikan rancangan model terkonfirmasi untuk dilanjutkan menjadi model tutupan lahan tahun 2031.



Gambar 8. Hasil validasi uji akurasi nilai kappa model 2022

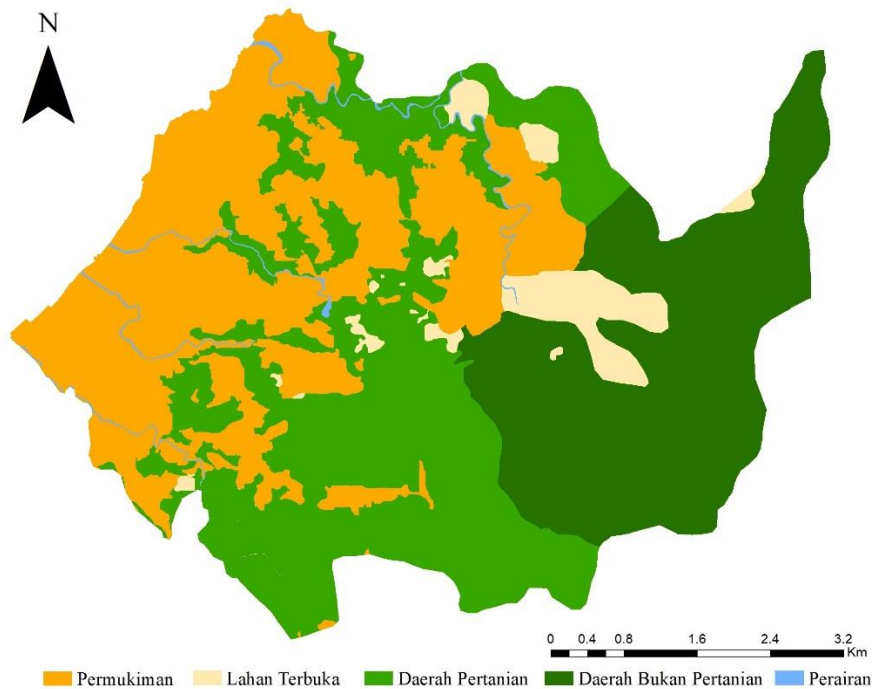
D. Simulasi Tutupan Lahan Tahun 2031

Simulasi tutupan lahan tahun 2031 merupakan simulasi kedua, dalam tahap ini dengan menggunakan *driving factors* dan akurasi transisi potensial yang sama seperti pada simulasi pertama, namun menggunakan nilai makrovian yang berbeda (Tabel 4), sehingga akan menghasilkan model tahun 2031

Tabel 4. Transitional Probability Matrix ke Tahun 2031

	Permukiman	Lahan Terbuka	Daerah Pertanian	Daerah Bukan Pertanian	Perairan
Permukiman	0.8471	0.0010	0.1519	0	0
Lahan Terbuka	0.1603	0.8396	0.0001	0	0
Daerah Pertanian	0.2012	0.0559	0.7429	0	0
Daerah Bukan Pertanian	0.0308	0.0222	0.2637	0.6833	0
Perairan	0	0	0	0	1

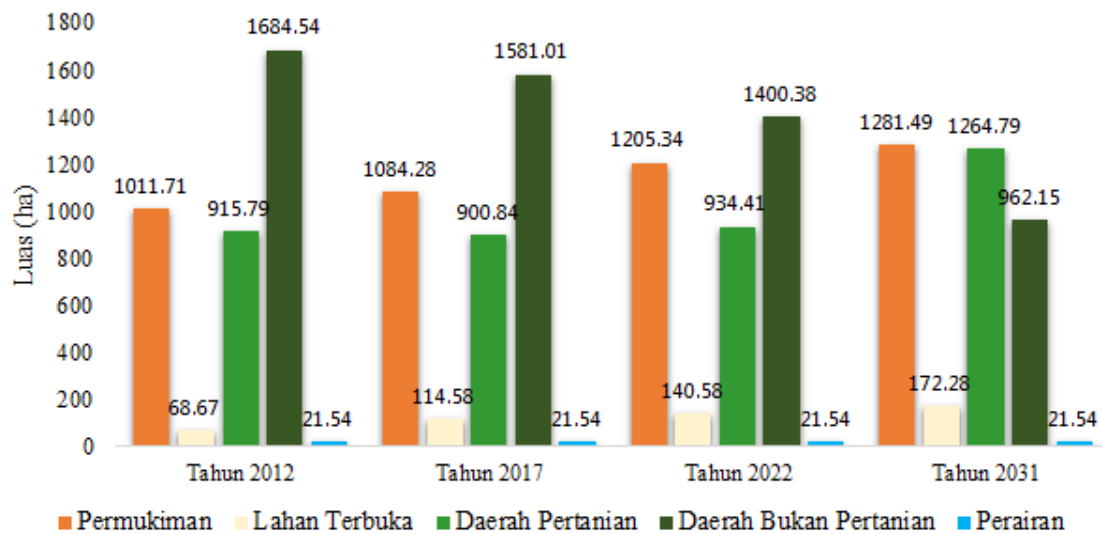
Dari kelima tutupan lahan tersebut dapat dilihat bahwa tutupan lahan daerah pertanian memiliki nilai probabilitas paling besar untuk berubah menjadi lahan permukiman dengan nilai TPM 0.2012, kemudian diikuti oleh jenis tutupan lahan lahan terbuka yang memiliki nilai TPM sebesar 0.1603. tutupan lahan perairan memiliki nilai TPM yaitu 0 yang artinya tidak akan berubah menjadi jenis tutupan lahan lainnya. Model prediksi tutupan lahan tahun 2031 dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Peta Model Tutupan Lahan Tahun 2031

Berdasarkan hasil pengolahan model tutupan lahan Kecamatan Sirimau tahun 2031 menggunakan *Celullar Automata Markov Chain* pada Gambar 9 diketahui jenis tutupan lahan permukiman memiliki luas 1.281,49 ha, lahan terbuka memiliki luas 172,28 ha, daerah pertanian memiliki luas 1.264,79 ha, daerah bukan pertanian memiliki luas 962,15 dan jenis tutupan lahan perairan memiliki luas 21,54 ha. Hasil analisis tutupan lahan tahun 2012, 2017, 2022 dan model tahun 2031 menunjukkan bahwa lahan permukiman dan lahan terbuka mengalami pertambahan luasan setiap tahun, berbeda dengan jenis tutupan lahan pertanian dan bukan pertanian yang mengalami penurunan luasan. Perkembangan luas permukiman di Kecamatan Sirimau pada tahun 2012, 2017, 2022 dan 2031 dapat dilihat pada Gambar 10.

Bertambahnya luasan jenis tutupan lahan permukiman Kecamatan Sirimau pada periode 2012-2031 menunjukkan peningkatan setiap periodenya. Luasan lahan permukiman pada tahun 2012 seluas 1.011,71 ha, mengalami pertambahan luasan seluas 1.084,28 ha pada tahun 2017, ditahun 2022 luasan lahan permukiman seluas 1205.34 dan berdasarkan hasil pemodelan tahun 2031 luasan lahan permukiman mengalami pertambahan luasan sebesar 1.281,49 ha.



Gambar 10. Perkembangan Luas Permukiman pada tahun 2012, 2017, 2022 dan 2031

Hasil simulasi tutupan lahan Kecamatan Sirimau tahun 2031 dapat digunakan sebagai informasi dalam mengevaluasi RTRW Kota Ambon tahun 2011-2031 dan juga sebagai dasar untuk pengambilan kebijakan terkait penataan dan pemanfaatan ruang kedepannya. Peningkatan perkembangan lahan permukiman yang tidak terkendali dapat menyebabkan penurunan daya dukung lingkungan (Tan et al., 2022) dan kerusakan lingkungan (Shang & Wu, 2022). Oleh karena itu hasil analisis dan prediksi tutupan lahan ini dapat memberikan solusi dalam penataan penggunaan lahan Kota Ambon ke depan berdasarkan SDGs.

4. Kesimpulan

Selama 15 tahun terakhir dari tahun 2022 perubahan tutupan lahan di Kecamatan Sirimau pada tahun 2012, 2017, dan 2022 mengalami peningkatan pada tutupan lahan permukiman dan lahan terbuka, sedangkan tutupan lahan yang mengalami penurunan yaitu tutupan lahan daerah pertanian, dan tutupan lahan daerah bukan pertanian, tutupan lahan yang tidak mengalami perubahan hanya tutupan lahan perairan. Perkembangan tutupan lahan permukiman paling banyak mengarah ke barat dan selatan. Hasil uji akurasi model tutupan lahan tahun 2022 mendapatkan nilai *kappa* yaitu sebesar 0,8593 atau 85,93%, artinya hasil uji akurasi yang diperoleh sangat baik dan dapat digunakan untuk pembuatan model tutupan lahan tahun 2031.

Berdasarkan prediksi model *Celullar Automata Markov Chain* tahun 2031 jenis tutupan lahan permukiman memiliki luas 1.281,49 ha, lahan terbuka memiliki luas 172,28 ha, daerah pertanian memiliki luas 1.264,79 ha, daerah bukan pertanian memiliki luas 962,15 dan jenis tutupan lahan perairan memiliki luas 21,54 ha. Lahan permukiman akan terus mengalami penambahan luasan seiring terjadinya pertumbuhan penduduk dan tingginya permintaan akan lahan untuk permukiman di Kecamatan Sirimau, oleh karena hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan masukan dalam pengambilan kebijakan terkait penataan dan pemanfaatan ruang di Kecamatan Sirimau kedepannya serta dapat digunakan untuk mengevaluasi RTRW Kota Ambon tahun 2011-2031 yang ada.

5. Referensi

- Badan Standarisasi Nasional. (2010). *SNI 7645-2010 tentang klasifikasi penutup lahan*.
- Balist, J., Malekmohammadi, B., Jafari, H. R., Nohegar, A., & Geneletti, D. (2021). Detecting land use and climate impacts on water yield ecosystem service in arid and semi-arid areas. A study in Sirvan River Basin-Iran. *Applied Water Science*, 12(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01545-8>
- BPS. (2021). *Kota Ambon Dalam Angka 2021* (BPS Kota Ambon (ed.)). BPS Kota Ambon.
- Ghosh, P., Mukhopadhyay, A., Chanda, A., Mondal, P., Akhand, A., Mukherjee, S., Nayak, S. K., Ghosh, S., Mitra, D., Ghosh, T., & Hazra, S. (2017). Application of Cellular automata and Markov-chain model in geospatial environmental modeling- A review. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 5, 64–77. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.01.005>
- He, Q., He, W., Song, Y., Wu, J., Yin, C., & Mou, Y. (2018). The impact of urban growth patterns on urban vitality in newly built-up areas based on an association rules analysis using geographical 'big data.' *Land Use Policy*, 78(July), 726–738. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.07.020>
- Islam, K., Rahman, M. F., & Jashimuddin, M. (2018). Modeling land use change using Cellular Automata and Artificial Neural Network: The case of Chunati Wildlife Sanctuary, Bangladesh. *Ecological Indicators*, 88, 439–453. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.047>
- Laka, B. M., Sideng, U., & Amal, A. (2017). Perubahan Penggunaan Lahan di Kecamatan Sirimau Kota Ambon. *Jurnal Geoelebes*, 1(2), 43–52.
- Lisanyoto, L., Supriatna, & Sumadio, W. (2019). Spatial Model of Settlement Expansion and its Suitability to the Landscapes in Singkawang City, West Kalimantan Province. *{IOP} Conference Series: Earth and Environmental Science*, 338, 12034. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/338/1/012034>
- Liu, Y. (2020). Sustainable Development in Urban Areas: Contributions from Generalized Trade. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102312. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102312>
- Mallick, S. K. (2021). Prediction-Adaptation-Resilience (PAR) approach- A new pathway towards future resilience and sustainable development of urban landscape. *Geography and Sustainability*, 2(2), 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.06.002>
- 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 Conference Series: Earth and Environmental Science*, 47, 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/47/1/012032>
- Mohamed, A., & Worku, H. (2019). Quantification of the land use/land cover dynamics and the degree of urban growth goodness for sustainable urban land use planning in Addis Ababa and the surrounding Oromia special zone. *Journal of Urban Management*, 8(1), 145–158. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jum.2018.11.002>
- Mwabumba, M., Yadav, B. K., Rwiza, M. J., Larbi, I., & Twisa, S. (2022). Analysis of land use and land-cover pattern to monitor dynamics of Ngorongoro world heritage site (Tanzania) using hybrid cellular automata-Markov model. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4, 100126. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100126>

- Novia Utami, N. D., Supriatna, & Anggrahita, H. (2019). Spatial Dynamics Model of Land Availability and Mount Merapi Disaster-Prone Areas in Sleman Regency, Yogyakarta Special Region Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 311(1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/311/1/012021>
- Peter, A., Zachariah, B., Damuut, L. P., & Abdulkadir, S. (2021). *Efficient Traffic Control System Using Fuzzy Logic with Priority* (pp. 660–674). https://doi.org/10.1007/978-3-030-69143-1_50
- Putri, R. A., & Supriatna, S. (2021). Land cover change modeling to identify critical land in the Ciletuh Geopark tourism area, Palabuhanratu, Sukabumi Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 623, 012081. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/623/1/012081>
- Rakuasa, H., Salakory, M., & Latue, P. C. (2022). Analisis dan Prediksi Perubahan Tutupan Lahan Menggunakan Model Selular Automata-Markov Chain di DAS Wae Ruhi Kota Ambon. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 9(2), 285–295. <https://doi.org/https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2022.009.2.9>
- Rakuasa, H., Sihasale, D. A., & Latue, P. C. (2022). Model Tutupan Lahan di Daerah Aliran Sungai Kota Ambon Tahun 2031: Studi Kasus DAS Wai Batu Gantung, Wai Batu Gajah, Wai Tomu, Wai Batu Merah Dan Wai Ruhi. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 9(2), 473–486. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2022.009.2.29>
- Rienow, A., Kantakumar, L. N., Ghazaryan, G., Dröge-Rothaar, A., Stickse, S., Trampnau, B., & Thonfeld, F. (2022). Modelling the spatial impact of regional planning and climate change prevention strategies on land consumption in the Rhine-Ruhr Metropolitan Area 2017–2030. *Landscape and Urban Planning*, 217, 104284. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104284>
- Salakory, M., Rakuasa, H. (2022). Modeling of Cellular Automata Markov Chain for predicting the carrying capacity of Ambon City. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (JPAL)*, 12(2), 372–387. <https://doi.org/https://doi.org/10.29244/jpsl.12.2.372-387>
- Shang, C., & Wu, J. (2022). A legendary landscape in peril: Land use and land cover change and environmental impacts in the Wulagai River Basin, Inner Mongolia. *Journal of Environmental Management*, 301, 113816. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113816>
- Sukojo, B.M., Hidayat, M., & Santoso, R. (2017). Analisis Ketelitian Horizontal Orthorektifikasi Citra Pleiades Untuk Pembuatan Peta Dasar Rdtr Pesisir (Studi Kasus: Kecamatan Semampir, Kota Surabaya). *GEOID*, 12(2), 136–142. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.12962/j24423998.v12i2.3585>
- Sun, X., Wu, J., Tang, H., & Yang, P. (2022). An urban hierarchy-based approach integrating ecosystem services into multiscale sustainable land use planning: The case of China. *Resources, Conservation and Recycling*, 178, 106097. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106097>
- Supriatna, Supriatna, J., Koestoer, R. H., & Takarina, N. D. (2016). Spatial Dynamics Model for Sustainability Landscape in Cimandiri Estuary, West Java, Indonesia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 227(November 2015), 19–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.038>
- Talukdar, S., Eibek, K. U., Akhter, S., Ziaul, S., Towfiqul Islam, A. R. M., & Mallick, J. (2021). Modeling fragmentation probability of land-use and land-cover using the bagging, random forest and random subspace in the Teesta River Basin,

- Bangladesh. *Ecological Indicators*, 126, 107612. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107612>
- Tan, S., Liu, Q., & Han, S. (2022). Spatial-temporal evolution of coupling relationship between land development intensity and resources environment carrying capacity in China. *Journal of Environmental Management*, 301, 113778. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113778>
- Tian, G., Ma, B., Xu, X., Liu, X., Xu, L., Liu, X., Xiao, L., & Kong, L. (2016). Simulation of urban expansion and encroachment using cellular automata and multi-agent system model—A case study of Tianjin metropolitan region, China. *Ecological Indicators*, 70, 439–450. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.021>
- Villarreal-Rosas, J., Wells, J. A., Sonter, L. J., Possingham, H. P., & Rhodes, J. R. (2022). The impacts of land use change on flood protection services among multiple beneficiaries. *Science of The Total Environment*, 806, 150577. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150577>
- Zadeh, L. A. (1994). Fuzzy logic, neural networks, and soft computing. *Communications of the ACM*, 37(3), 77–84. <https://doi.org/10.1145/175247.175255>
- Zheng, Q., Weng, Q., & Wang, K. (2021). Characterizing urban land changes of 30 global megacities using nighttime light time series stacks. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 173, 10–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.01.002>