

Pemodelan Spatial Perubahan Penggunaan Lahan Dalam Pembangunan Wilayah Berkelanjutan

Dani Ramdani¹, Yusni Ikhwan Siregar², Zulkarnain³

¹ Program Studi Magister Ilmu Lingkungan PPs-Unri, Jl. Pattimura No.09.Pekanbaru

^{2,3} Dosen Program Studi Magister Ilmu Lingkungan PPs-Unri, Jl. Pattimura
No.09.Pekanbaru

Koresponden Email : dani.ramdani7118@grad.unri.ac.id

(Diterima 18 Oktober 2023 |Disetujui 19 Oktober 2023 |Diterbitkan 31 Oktober 2023)

SPATIAL MODELING OF LAND USE CHANGE IN SUSTAINABLE REGIONAL DEVELOPMENT (Case Study Sub District Pangkalan Kerinci and Surroundings, Pelalawan). Regency Riau Province

Abstract

This study aims to analyze the landchange of land use/ Land cover in Pangkalan Kerinci Subdistrict Surroundings and to make prediction model in 2039. This study uses analytical quantitative research with a correlational approach method. Land is a natural resource from the outer surface of the earth that supports life. Many factors affect land use changes, including social factors such as population and distance from settlements, economic factors such as distance from business activities and biophysical factors such as soil type, elevation, slope, rainfall and distance from rivers. This land use change is an aspect that is widely studied for the study of regional spatial planning (RTRW), The main objective of this study is to predic landcover/ land use in 2039 using Sistem Informasi Geografis and Cellural Automata-Markov modeling with the following details : (1) analyzing land cover/land use changes, (2) analyze the driving factors of changes, (3) Build a model prediction of landcover/ land use change in 2039, (4) Compile directives for land cover/ land use control.

Keywords : CA-Markov, GIS, RTRW, Land use/cover change.

PENDAHULUAN

Perubahan penggunaan lahan merupakan salah satu aspek yang banyak dipelajari di dunia, termasuk di Indonesia. Kepentingan dari studi perubahan penggunaan lahan sangat signifikan untuk dikaji dalam perencanaan pengembangan wilayah yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti potensi wilayah, homogenitas wilayah, aksesibilitas, kelengkapan sarana prasarana, dan keterbatasan fisik yang dapat dikembangkan.

(Le Quéré *et al*, 2018) mengatakan bahwa dalam 100 tahun terakhir, perubahan penggunaan lahan berkontribusi sebesar 25% terhadap perubahan iklim global yang mengakibatkan terjadinya peningkatan emisi gas. (Skogen *et al*, 2018) juga menambahkan perubahan iklim global sebagai masalah ekologi utama yang dihadapi

dunia saat ini disamping kehilangan ke-anekaragaman hayati (kahati). Perubahan penggunaan lahan di Negara Indonesia yang beriklim tropis dan memiliki hutan yang cukup luas ini perlu dikendalikan sebab selain berkaitan dengan perubahan iklim global juga berdampak langsung terhadap habitat dan kepunahan beberapa spesies (Margono *et al.*, 2014).

Proyeksi perubahan penggunaan lahan merupakan hal yang penting dilakukan untuk mengantisipasi dampak yang terjadi akibat implementasi kebijakan alokasi ruang kawasan. Teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) menyediakan sejumlah perangkat analisis spasial yang dapat digunakan dalam mengetahui kecenderungan perubahan penggunaan lahan di suatu wilayah. Salah satu model spasial yang dapat digunakan dalam memprediksi perubahan penggunaan lahan yang terjadi pada tahun tertentu yaitu CA-Marcov. Dalam penelitian ini, model CA-Marcov diintegrasikan dengan model Regresi Logistik Biner digunakan untuk memprediksi perubahan penggunaan lahan pada tahun 2039 di wilayah Kecamatan Pangkalan Kerinci dan sekitarnya.

Verburg *et al.* (1999) dalam penelitiannya, model spasial dinamis digunakan untuk menganalisis perubahan tutupan/penggunaan lahan yang melibatkan faktor fisik, ekonomi dan sosial. Di dalam penelitian ini, analisis perubahan tutupan/penggunaan lahan dilakukan menggunakan model cellular automata markov chain (CA-Marcov) yang dapat digunakan untuk menganalisis perubahan tutupan/penggunaan lahan dan telah dapat dimanfaatkan secara luas (Hedge *et al.* 2008; Munibah, 2008; Hermawan, 2011; Wang *et al.* 2012; Xin *et al.* 2012; Riccioli *et al.* 2013; Nouri, 2014; Mondal *et al.* 2016; Rotinsulu *et al.* 2018; Yusuf *et al.* 2018). Model markov chain ini dipilih karena model ini mampu dan dapat menilai perubahan tutupan/penggunaan lahan baik secara statistis maupun dinamis serta mempertimbangkan faktor antara ruang dan waktu (Hedge *et al.* 2008; Jie, 2010; Mondal *et al.* 2016). Pada model CA-Marcov ini, deteksi perubahan tutupan/penggunaan lahan yang dianalisis didasarkan pada kemungkinan terjadinya perubahan lahan dari suatu kondisi ke kondisi lain berdasarkan aturan lokal, filter spasial cellular automata, dan peta potensial perubahan kemungkinan terjadinya transisi (transition probabilities) (Hedge *et al.* 2008; Munibah, 2008; Mas *et al.* 2013). Peta perubahan tutupan/penggunaan lahan tersebut disusun berdasarkan faktor ketetanggaan dan fisik (lahan) yang memicu terjadinya adanya perubahan tutupan/penggunaan lahan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan penggunaan lahan, menganalisis faktor-faktor pendorong perubahan penggunaan lahan, membangun model prediksi perubahan tutupan/penggunaan lahan pada tahun 2039 dan Menyusun arahan pengendalian penggunaan lahan.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian di Kecamatan Pangkalan Kerinci dan sekitarnya yang terdiri dari 30 desa\kelurahan, di Kabupaten Pelalawan dan Kabupaten Siak, Provinsi Riau. Berada pada posisi geografis 0°15'1.358"LU - 0°31'18.054"LU dan 101°44'20.256"BT Lokasi penelitian disajikan pada gambar 1. Penelitian dilakukan dari bulan Maret 2021 sampai dengan bulan November 2021

Analisa Perubahan Penutupan/Penggunaan Lahan

Jenis tutupan/penggunaan lahan dikelompokkan menjadi 8 kelas, yaitu hutan, Semak belukar, Perkebunan sawit, Pertanian lahan kering, Permukiman/lahan terbangun, Lahan terbuka, Rawa dan Perairan. Definisi dan spesifikasi interpretasi citra sesuai dengan RSNI-1 ([http://webgis.dephut.go.id:8080 /kemenhut](http://webgis.dephut.go.id:8080/kemenhut)). Validasi hasil interpretasi penggunaan lahan tahun 2021 dilakukan dengan ground chek lapangan dan dengan menggunakan referensi citra resolusi tinggi dari google earth. Teknik sampling yang digunakan adalah purposive sampling dari hasil stratifikasi tutupan/penggunaan lahan. Titik sampel ditentukan, menyebar merata menyesuaikan tujuan penelitian dengan mempertimbangkan kemudahan aksesibilitas menuju titik sampel. Hasil verifikasi dihitung akurasi menggunakan overall accuracy dan kappa accuracy. Overall accuracy hanya mempertimbangkan commission (diagonal) sedangkan kappa accuracy sudah mempertimbangkan commission dan omission. Hal ini menyebabkan nilai overall accuracy memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan kappa accuracy. Pengujian hasil interpretasi diharapkan mendapatkan nilai overall accuracy diatas 85%. Rumus kappa accuracy sesuai dengan Jensen tahun 1996. Matriks konfusi disajikan pada Tabel 1.

$$Kappa\ Accuracy\ \left(\frac{a}{b}\right)^n = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} X_{+i})}{\sum_{i=1}^r (x_{i+} X_{+i})} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- X₊₁ : Jumlah titik hasil interpretasi pada jenis penggunaan lahan ke-i
- X₁₊ : Jumlah titik hasil validasi pada jenis penggunaan lahan ke-i
- X_{ii} : Jumlah jenis penggunaan lahan ke-i hasil interpretasi yang bersesuaian dengan penggunaan lahan hasil validasi
- I : Baris dan kolom
- r : Jumlah tipe penggunaan lahan
- N : Jumlah titik penggunaan lahan yang dilakukan validasi

Tabel 1. Matriks konfusi uji validasi

Data Referensi	Kelas Klasifikasi					Jumlah	Producer's accuracy
	A	B	C	D	.....	
A	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	.....	X ₁₊	X ₁₁ /X ₁₊
B	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄	.....	X ₂₊	X ₂₂ /X ₂₊
C	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₃₄	.....	X ₃₊	X ₃₃ /X ₃₊
D	X ₄₁	X ₄₂	X ₄₃	X ₄₄	.....	X ₄₊	X ₄₄ /X ₄₊
.....							
Jumlah	X ₊₁	X ₊₂	X ₊₃	X ₊₄	.....	
User accuracy	X ₁₁ /X ₊₁	X ₂₂ /X ₊₂	X ₃₃ /X ₊₃	X ₄₄ /X ₊₄	.....	
Overall accuracy	((X ₁₁ +X ₂₂ +X ₃₃ +X ₄₄) / (X ₁₊ +X ₂₊ +X ₃₊ +X ₄₊))*100%						

Analisis Faktor Pendorong Perubahan Tutupan/Penggunaan Lahan

Perubahan penggunaan lahan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain faktor sosial ekonomi (jumlah penduduk, jarak dari HGU, jarak dari HTI, jarak dari pabrik), faktor jarak (jarak dari jalan, sungai, Perkantoran dan permukiman existing) dan faktor fisik wilyah (kemiringan lereng, jenis tanah dan elevasi). Faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan penggunaan lahan dianalisis dengan metode regresi logistik biner, yaitu model regresi dimana variabel bebas bersifat biner. Variabel biner direpresentasikan

dengan nilai 0 atau 1. Nilai 0 menunjukkan tidak ada perubahan penggunaan lahan dan nilai 1 berarti ada perubahan penggunaan lahan menjadi penggunaan lahan yang lain. Metode ini digunakan bila variabel bebas merupakan campuran antara logistic diskrit, continue dan distribusi data yang digunakan tidak normal (Wahyudin, 2004).

Variabel bebas dinormalkan nilainya dengan rentang nilai yang seimbang, sehingga variable bebas yang kontinyu akan memiliki skala yang sama (Nefeslioglu *et al.* 2008). Berikut persamaan normalisasi :

$$X^{ij} = (X_{ij} - \min) / \max \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:
 X^{ij} : Normalisasi data raster
 X_{ij} : Normalisasi asal data raster

Untuk menghilangkan batas 0 atau 1, maka dilakukan transformasi supaya menghasilkan probabilitas yang natural dengan persamaan logit pi. Logit pi (Y) adalah natural dari logaritma (ln) yang berasal dari odd perubahan. Odd adalah indeks peluang terjadi dan tidaknya perubahan.

$$\text{Logit}(\pi) = \ln \left[\frac{P}{1-P} \right] \dots \dots \dots (3)$$

Penelitian ini menggunakan pendekatan model MLE (Maximum Likelihood Estimation) dan persamaan model dari binary regression model (Deng *et al.* 2016). Regresi logistik digunakan untuk mengetahui hubungan antara variabel dependent dan independent, variabel dependent merupakan fungsi probabilitas perubahan penggunaan lahan berdasarkan nilai skor dari variabel independent. Dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Logit}(Y) = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots + b_i X_n \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :
 Y = Variabel dependent
 X = Variabel independent
 a = Konstanta
 b_1 = Koefisien variabel independent ke i

Hasil regresi logistic diuji ketepatannya dengan metode ROC (Relative Operating Characteristics) dengan rentang nilai antara 0,5 – 1,0. Model yang ideal akan memiliki nilai ROC = 1. Probabilitas lokasi perubahan yang diperoleh dari hasil regresi logistik biner antara peta perubahan penggunaan lahan (variabel dependent) dengan parameter-parameter simulasi perubahan (variabel independent) menghasilkan peta kesesuaian lahan (Land Suitability Image).

Model Prediksi Tutupan/Penggunaan Lahan Tahun 2039

Markov Chain, merupakan metode statistik yang menggunakan matrik peluang peralihan sesuai dengan algoritma yang mempengaruhi ruang tersebut. Persamaan *Markov* dibangun menggunakan peta tutupan/penggunaan lahan pada awal dan akhir masa pengamatan (dua periode yang berbeda). Peta-peta dalam bentuk digital dengan format raster, terpresentasikan dalam suatu vektor (matriks satu kolom), serta sebuah matriks transisi (*transition matrix*).

Input penggunaan lahan tahun 2007 dengan tahun 2014 dianalisis menggunakan *Marcov Chain* akan menghasilkan matriks probabilitas, matriks area transisi, dan image kesesuaian lahan. Matriks transisi adalah matrik perubahan lokasi dari tahun sebelum ke tahun proyeksi. Ilustrasi matrik transisi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ilustrasi matrik transisi probabilitas dalam luasan

Pergunaan Lahan (t_0)	Pergunaan Lahan (t_1)				
	$P_{it\ 1}$	$P_{it\ 1}$	$P_{it\ 1}$	.....	$P_{nt\ 1}$
$P_{it\ 0}$	$P_{it\ 1}$				
$P_{it\ 0}$		$X_{ti\ 1}$			
$P_{it\ 0}$			X_{ii}		
				
$P_{nt\ 0}$					X_{ii}

Keterangan:

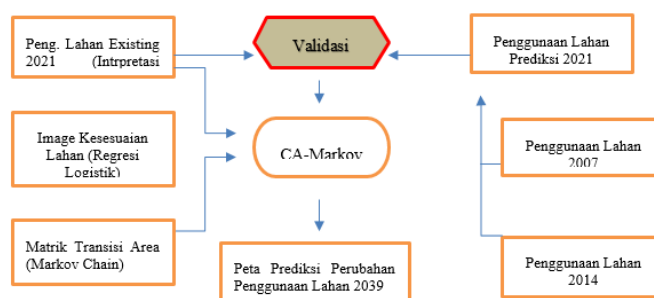
P_{it0} : Tipe penggunaan lahan ke-i pada tahun t_0

P_{it1} : Tipe penggunaan lahan ke-i pada tahun t_1

n : Jumlah tipe penggunaan lahan

X_{ii} : Luas perubahan penggunaan lahan ke-i periode tahun t_0 dan t_1

Dengan *CA-Markov*, probabilitas perubahan-perubahan *piksel* penggunaan lahan mengikuti pola perubahan penggunaan lahan sebelumnya. Penggunaan lahan tetangga disekitar piksel, dan perubahan akan terkontrol mengikuti fungsi matrik transisi. Dalam penelitian ini digunakan *filter* matrik 5×5 , sehingga perubahan penggunaan lahan pada piksel pusat akan dipengaruhi oleh 24 piksel disekitarnya yang terdekat. Filter matrik ini akan bergerak secara dinamis secara *vertikal* maupun *horizontal* selama proses analisis. Validasi model adalah upaya yang dilakukan untuk mengetahui akurasi dari proyeksi perubahan penggunaan lahan, model ini akan diterima apabila hasil nilai validasi lebih dari 85 %. Caranya dengan membandingkan peta penggunaan lahan hasil prediksi tahun 2021 dengan peta penggunaan lahan existing tahun 2021. Proses diagram *input* dan *output* dalam *CA-Markov* dapat dilihat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram *input* dan *output* (*CA-Markov*)

Analisis Arahkan Pengendalian Perubahan Penggunaan Lahan

Pola ruang RTRW terbagi menjadi rencana pengembangan kawasan lindung seluas 3.444 ha (2.7%), rencana pengembangan kawasan budidaya seluas 122.409 ha (96%) dan perairan 1.618 ha (1.3%). Alokasi ruang disederhanakan menjadi 5 kelas kawasan agar mendekati dengan klasifikasi penggunaan lahan hasil interpretasi citra. Susunan alokasi ruang disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Penyesuaian alokasi pola ruang dengan penggunaan lahan

Alokasi Ruang RTRWP	Kawasan	Hasil Interpreter
Hutan Lindung Kawasan Lindung Bawah Kawasan Resapan Air	Kawasan Lindung	Hutan
Hutan Produksi Hutan Produksi Terbatas	Kawasan Produksi	Hutan Hutan
Kawasan Perkebunan	Kawasan Perkebunan	Perkebunan
Pertanian Lahan Kering	Kawasan Pertanian	Pertanian Lahan Kering
Kawasan Pemukiman Kota Kawasan Perdesaan	Kawasan Pemukiman	Pemukiman/ Lahan Terbangun

Peta penggunaan lahan existing (2021) di *overlay* dengan peta pola ruang sesuai dengan alokasi kawasannya, sehingga diketahui hasil analisis keselarasan penggunaan lahan terhadap pola ruang secara existing. Kategori keselarasannya adalah selaras dengan RTRW, masih dapat berubah fungsi dan tidak selaras RTRW. Proses ini juga dilakukan terhadap peta penggunaan prediksi tahun 2039 dari hasil simulasi *CA-Markov*, kemudian dikalkulasi luasnya. Keselarasan penggunaan lahan dengan pola ruang RTRW disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Keselarasan tutupan/penggunaan lahan dengan pola ruang RTRW

Jenis Penggunaan Lahan	Kawasan Lindung	Kawasan Budidaya			
		Hutan Produksi	Perkebunan	Pertanian	Pemukiman
Hutan	a	a	b	c	c
Semak belukar	b	b	b	c	c
Perkebunan	c	b	a	c	c
Pertanian	c	c	c	a	b
Pemukiman	c	c	b	c	a

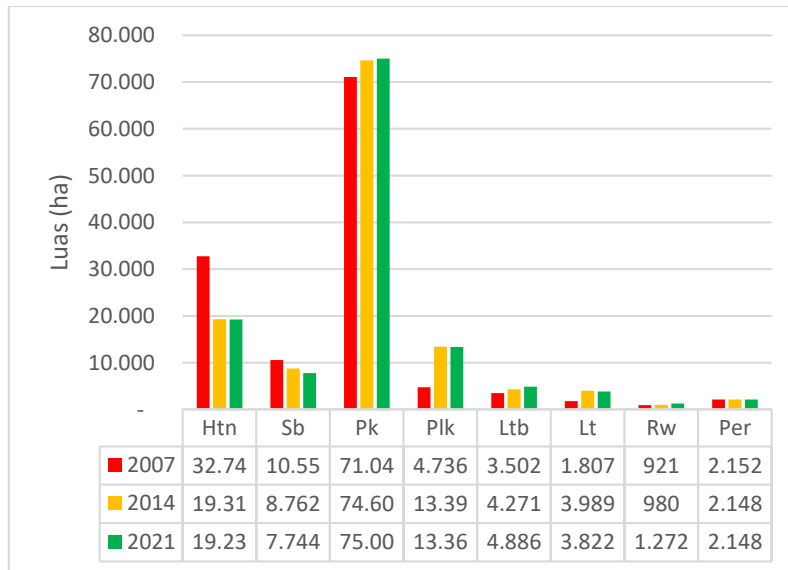
Keterangan

- a : Penggunaan lahan yang selaras dengan RTRW
- b : Penggunaan lahan yang masih memungkinkan dapat berubah fungsi ke kawasan penggunaan lahan yang lain pada masa yang akan datang
- c : Penggunaan lahan yang tidak selaras dengan RTRW

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan Tutupan/Penggunaan Lahan di Kecamatan Pangkalan Kerinci dan sekitarnya.

Berdasarkan hasil pengamatan silang kondisi lapangan Validasi hasil analisis citra tahun 2021 dengan 413 titik sample lapangan menunjukkan nilai *kappa accuracy* 94% dan *overall accuracy* 96%. Nilai tersebut sudah cukup memenuhi standar validasi dari interpretasi sehingga hasil dari interpretasi bisa digunakan untuk penelitian lebih lanjut.



Gambar 2. Grafik perubahan penggunaan lahansi Kecamatan Pangkalan Kerinci dan sekitarnya

Hasil analisis tutupan/penggunaan lahan yang mengalami penurunan luas adalah hutan dan semak belukar. Tutupan/penggunaan lahan yang mengalami kenaikan luas adalah perkebunan, pertanian lahan kering dan permukiman/lahan terbangun.

Luas tutupan/penggunaan lahan dari tahun 2007, 2014 dan 2021 disajikan pada Tabel 5. dan perubahan luasnya disajikan pada Tabel 6.

Tabel 5. Luas penggunaan/tutupan lahan

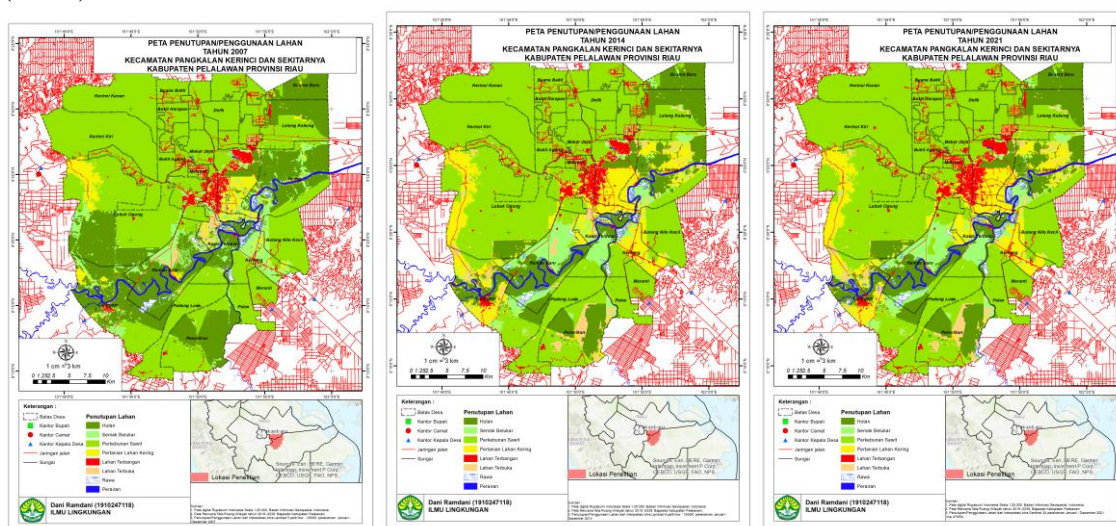
Tutupan/Penggunaan Lahan	Luas Tutupan/Penggunaan Lahan					
	2007		2014		2021	
	ha	%	ha	%	ha	%
Hutan	32,748	25.69%	19,316	15.15%	19,232	15.09%
Semak Belukar	10,556	8.28%	8,762	6.87%	7,744	6.08%
Perkebunan	71,048	55.74%	74,609	58.53%	75,003	58.84%
Pertanian lahan kering	4,736	3.72%	13,396	10.51%	13,365	10.48%
Lahan terbangun	3,502	2.75%	4,271	3.35%	4,886	3.83%
Lahan terbuka	1,807	1.42%	3,989	3.13%	3,822	3.00%
Rawa	921	0.72%	980	0.77%	1,272	1.00%
Perairan	2,152	1.69%	2,148	1.68%	2,148	1.68%
Jumlah	127,471	100.00%	127,471	100.00%	127,471	100.00%

Tabel 6. Perubahan luas penggunaan/tutupan lahan

Tutupan/Penggunaan Lahan	Luas Perubahan Tutupan/Penggunaan Lahan					
	2007		2014		2021	
	ha	%	ha	%	ha	%
Hutan	-13,432	-41.02%	-84	-0.44%	-13,516	-41.27%
Semak Belukar	-1,794	-17.00%	-1,018	-11.61%	-2,812	-26.64%
Perkebunan	3,561	5.01%	393	0.53%	3,954	5.57%
Pertanian lahan kering	8,660	182.86%	-32	-0.24%	8,629	182.19%

Tutupan/Penggunaan Lahan	Luas Perubahan Tutupan/Penggunaan Lahan					
	2007		2014		2021	
	ha	%	ha	%	ha	%
Lahan terbangun	769	21.95%	614	14.39%	1,383	39.50%
Lahan terbuka	2,182	120.81%	-166	-4.17%	2,016	111.59%
Rawa	59	6.39%	292	29.80%	351	38.10%
Perairan	-5	-0.22%	0	0.00%	-5	-0.22%

Perubahan luas tutupan penggunaan lahan pada perkebunan meningkat, pada periode tahun 2007-2021 peningkatan yang terbesar berasal dari perubahan hutan menjadi perkebunan yaitu seluas 3,960 ha (3,874 ha di periode tahun 2007-2014 dan 86 ha di periode tahun 2014-2021) atau sekitar 5.3%. Kemudian semak belukar menjadi perkebunan seluas 412 ha (0.5%), dan lahan terbuka menjadi perkebunan seluas 372 ha (0.5%).



Gambar 3. Peta penggunaan/penutupan lahan di lokasi penelitian tahun 2007,2014,2021

Faktor-faktor Pendorong Perubahan Tutupan/Penggunaan Lahan

Variabel-variabel bebas yang menjadi faktor pendorong terhadap perubahan tutupan/penggunaan lahan dianalisis dengan metode regresi logistik biner menggunakan *software Idrisi Selva* pada kontrol spesifikasi *stratified random sampling* dengan taraf $\alpha=10\%$. Hasil regresi logistik biner disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil analisis regresi logistic

Variabel Bebas	Variabel Terikat						
	Hutan	Semak belukar	Perkebunan	Pertanian lahan kering	Lahan terbangun	Lahan terbuka	Perairan
a	-118.26	-0.96	-7.65	-16.55	-5.47	-10.46	-52.84
x1	17.96	2.71	6.58	-4.37	1.03	-2.85	-17.21
x2	35.78	-2.71	0.26	4.37	-1.03	2.85	34.66
x3	-28.16	0.49	-0.05	-1.91	-0.04	0.25	-22.63
x4	10.26	2.28	1.14	-2.99	1.67	-3.95	10.58
x5	-9.88	-0.52	-6.81	5.86	1.12	0.17	10.76
x6	2.94	-1.75	5.70	-2.87	0.40	3.77	-21.34

x7	66.35	-2.01	-4.96	6.05	1.88	4.45	3.17
x8	-3.32	0.00	4.01	0.00	0.09	5.16	-0.03
x9	66.15	0.90	-0.95	-7.92	0.03	6.47	-1.50
x10	7.68	0.39	0.49	1.16	0.18	1.08	9.24
x11	-15.37	2.84	5.56	17.71	2.98	-1.81	36.27
ROC	0.98	0.68	0.75	0.89	0.68	0.75	0.98

Keterangan:

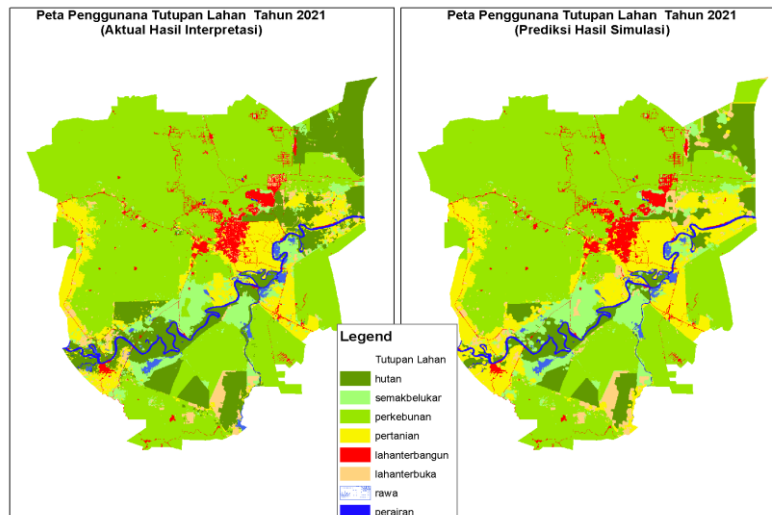
a: konstanta, x1:kemiringan lereng, x2: elevasi, x3: soil, x4:jarak darisungai, x5:jarak dari jalan, x6: jarak dari pemukiman, x7: jarak dari pusat kota, x8: kepadatan penduduk, x9: jarak dari HTI, x10: jarak dari HGU (perkebunan sawit), x11: jarak dari pabrik kertas.

Berdasarkan hasil analisis dari hasil regresi logistic nilai keofisien variabel bebas positif tertinggi dan negatif terendah dapat diartikan sangat berpengaruh terhadap keberadaan atau perubahan tutupan/penggunaan lahan tersebut. Nilai konstanta positif dan negatif memiliki arti tersendiri. Semakin tinggi nilai konstanta positif maka peluang konversi lahannya akan semakin besar dan semakin rendah nilai konstanta negatif maka peluang konversi lahannya akan semakin kecil. Hasil analisis menunjukkan, bahwa peluang terjadinya konversi permukiman sangat kecil. Nilai *ROC (Relative Operating Characteristic)* berkisar antara 0.5 – 1.0 semakin tinggi nilai *ROC* maka persamaan model tersebut semakin mendekati sempurna. Nilai *ROC* sama dengan 0.5 menunjukkan kecocokan persamaan model masih bersifat acak.

Model Prediksi Tutupan/Penggunaan Lahan Pada Tahun 2039

Input pertama dalam pembuatan model prediksi tutupan/penggunaan lahan tahun 2039 adalah peta tutupan/penggunaan lahan tahun 2021 sebagai basemap kondisi awal. Input kedua adalah peta-peta yang menjadi faktor pendorong perubahan tutupan/penggunaan lahan hasil *regresi logistik biner* sebagai image kesesuaian lokasi trasi perubahan lahan. Input ketiga adalah matrik area transisi yang didapat dari *Markov Chain* analisis peta tahun 2007-2021. Analisis ini menggunakan 18 kali iterasi, dimana 1 kali iterasi mewakili 1 tahun perubahan.

Membangun model prediksi tutupan/penggunaan lahan tahun 2039, diperlukan validasi model dengan membuat peta model tahun 2021. Peta model tahun 2021 divalidasi dengan peta tutupan/penggunaan lahan aktual hasil interpretasi citra tahun 2021. Hasil uji validasi menunjukkan nilai *overall kappa* (Kstandard) sebesar 0.9659. Hal ini menunjukkan, bahwa hasil simulasi model sudah sangat baik dan bisa dilanjutkan untuk membangun model prediksi tutupan/penggunaan lahan tahun 2039. Perbandingan peta tahun 2021 aktual hasil interpretasi dan model proyeksi simulasi disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan peta tahun 2021 hasil interpretasi dan hasil simulasi

Perubahan tutupan/penggunaan lahan antara tahun 2007 dan tahun 2021 digunakan sebagai input dalam analisis *Markov Chain*. Hasil analisis tersebut adalah *matriks probabilitas* dan *matriks transisi area*. Nilai 0 menunjukkan tidak terjadi perubahan tutupan/penggunaan lahan dari tutupan/penggunaan lahan sebelumnya (awal) menjadi tutupan/penggunaan lahan lainnya di akhir periode transisi. Nilai-nilai matriks tegak lurus diagonal (baris-kolom) menunjukkan luas tutupan/penggunaan lahan yang tidak berubah (tetap sebagai tutupan/penggunaan lahan yang sama). Nilai-nilai matriks ke samping kiri-kanan kolom dalam satu baris menunjukkan nilai perubahan dan luas pada tutupan/penggunaan di kolom tersebut. Semakin tinggi nilainya maka akan semakin luas perubahan yang terjadi. Matriks probabilitas prediksi disajikan pada Tabel 8. dan matriks area transisi disajikan pada Tabel 9.

Tabel 8. Matrik probabilitas prediksi tahun 2039

Tahun 2014	Penutup/Penggunaan Lahan Tahun 2021							
	HT	SB	PERK	PLK	LTB	LT	RW	PER
HT	0.9956	0.0004	0.0000	0.0019	0.0001	0.0020	0.0000	0.0000
SB	0.0000	0.8884	0.0000	0.0189	0.0545	0.0381	0.0000	0.0000
PERK	0.0000	0.0000	0.9992	0.0000	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000
PLK	0.0000	0.0000	0.0000	0.9800	0.0000	0.0000	0.0200	0.0000
LTB	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
LTB	0.0000	0.0000	0.1165	0.0150	0.0140	0.8545	0.0000	0.0000
RW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
PER	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

Keterangan :

(Ht) Hutan, (Sb) Semak belukar, (Perk) Perkebunan sawit, (Plk) Pertanian lahan kering, (ltb) Lahan terbangun, (Lt) Lahan terbuka, (Rw) Rawa dan (Per) Perairan.

Tabel 9. Matrik transisi area tahun 2039

Tahun 2014	Penutup/Penggunaan Lahan Tahun 2021							
	HT	SB	PERK	PLK	LTB	LT	RW	PER
HT	482,342	203	2	901	52	963	0	0

Tahun 2014	Penutup/Penggunaan Lahan Tahun 2021							
	HT	SB	PERK	PLK	LTB	LT	RW	PER
SB	0	175,088	0	3,726	10,749	7,513	0	0
PERK	0	0	1,874,794	0	1,441	29	0	0
PLK	0	0	0	327,646	0	0	6,683	0
LTB	0	0	0	0	120,537	0	0	0
LTB	0	0	10,935	1,412	1,317	80,234	0	0
RW	0	0	0	0	0	0	29,248	0
PER	0	0	0	0	0	0	0	51,349

Keterangan :

(Ht) Hutan, (Sb) Semak belukar, (Perk) Perkebunan sawit, (Plk) Pertanian lahan kering, (ltb) Lahan terbangun, (Lt) Lahan terbuka, (Rw) Rawa dan (Per) Perairan.

Probabilitas terjadinya perubahan tutupan/penggunaan lahan hutan menjadi semak belukar sejumlah 203 piksel (8 ha). Hutan menjadi pertanian lahan kering sejumlah 901 fiksels (36 ha). Hutan menjadi lahan terbuka sejumlah 963 piksel (39Ha). Semak belukar menjadi pertanian lahan kering sebesar 3.726 piksel (149 ha). semak belukar menjadi lahan terbangun sejumlah 10.749 (430 ha), semak belukar menjadi Lahan terbuka sejumlah 7.513 piksel (301 ha). Perkebunan menjadi lahan terbangun sebanyak 1.441 piksel (58 ha), Pertanian lahan kering menjadi rawa sejumlah 6.684 piksel (267 ha).

Peluang perubahan lahan permukiman/lahan terbangun menjadi perkebunan sebesar 10,935 piksel atau luas 437 ha. Hal ini dimungkinkan karena lokasi permukiman/lahan terbangun dan areal perkebunan yang bertetanggaan sehingga menyebabkan error dan perubahan luas oleh faktor konversi dari format data vektor ke format data raster.

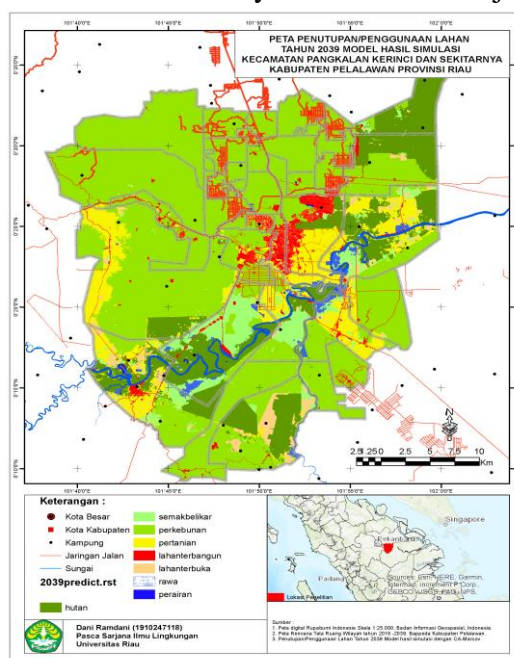
Prediksi perubahan tutupan/penggunaan lahan tahun 2039 dianalisis melalui tren/pola perubahan-perubahan pada tahun 2007-2021 yang terjadi secara dinamis. Perbandingan prediksi tutupan/penggunaan lahan di lokasi penelitian pada tahun 2039 dengan tutupan/penggunaan lahan aktual hasil interpretasi citra tahun 2021, menunjukkan probabilitas perubahan tutupan/penggunaan lahan, lokasi dan luasnya pada masing-masing kelas tutupan/penggunaan lahan. Perbandingan luas tutupan/penggunaan lahan tahun 2021 dan 2039 disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan luas tutupan/penggunaan lahan tahun 2021 dan 2039

Tutupan/Penggunaan Lahan	Luas Tutupan/Penggunaan Lahan					
	2021		2039		Selisih	
	ha	%	ha	%	ha	%
Hutan	9,232	15.09%	9,381	15.20%	149	0.12%
Semakbelukar	7,744	6.08%	7,003	5.49%	-741	-0.58%
Perkebunan	75,003	58.84%	75,438	59.18%	436	0.34%
PLahanKering	13,365	10.48%	13,310	10.44%	-55	-0.04%
Lahanterbangun	4,886	3.83%	5,338	4.19%	453	0.36%
Lahanterbuka	3,822	3.00%	3,510	2.75%	-312	-0.24%
Rawa	1,272	1.00%	1,436	1.13%	164	0.13%
Perairan	2,148	1.68%	2,053	1.61%	-95	-0.07%
Jumlah	127,471	100.0%	127,471	100.0%		

Hasil analisis tabel dan perbandingan peta tutupan/penggunaan lahan tahun 2021 dengan peta model prediksi tutupan/penggunaan lahan tahun 2039 di lokasi penelitian menunjukkan, bahwa luas tutupan hutan masih belum ideal (minimal 30% dari total luas wilayah). Hasil analisis menunjukkan luas semak belukar 2021 adalah 6.08% dan akan turun menjadi 5.49% pada tahun 2039. Tutupan/penggunaan lahan semak belukar berkurang 741 ha (-0.58%) dari luas semak belukar pada tahun 2021. Tutupan pertanian lahan kering berkurang 55 ha (-0.04%), Tutupan lahan terbuka berkurang 312 ha (-0.24%) dan perairan berkurang 95 ha (-0.07%).

Tutupan/penggunaan lahan hutan bertambah 149 ha (0.12%) dari luas hutan pada tahun 2021. Tutupan/penggunaan lahan untuk perkebunan luasnya bertambah 436 ha (0.34%) dari luas perkebunan pada tahun 2021. Lahan terbangun luasnya bertambah 453 ha (0.36%) dari luasan lahan terbangun pada tahun 2021. Rawa luasnya bertambah 164 ha (0.13%) dari luasan rawa pada tahun 2021. Peta prediksi penutup/penggunaan lahan Kecamatan Pangkalan Kerinci dan sekitarnya tahun 2039 disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta Penggunaan/penutupan lahan Kecamatan Pangkalan Kerinci dan sekitarnya tahun 2039

Arahan Pengendalian Tutupan/Penggunaan Lahan

Arahan pengendalian keselarasan tutupan/penggunaan lahan terhadap pola ruang RTRW dimaksudkan agar perubahan dan perkembangan tutupan/ penggunaan lahan dapat selaras dengan RTRW Kabupaten Pelalawan sampai dengan tahun 2039. Analisis peta-peta tutupan/penggunaan lahan tahun 2007, tahun 2014, dan tahun 2021, serta analisis model prediksi tutupan/penggunaan lahan tahun 2039, menunjukkan bahwa terdapat perkebunan sawit, pertanian lahan kering, belukar, lahan terbuka dan permukiman yang berada pada arahan pola ruang kawasan lindung. Perlunya rekomendasi arahan pengendalian penggunaan lahan fungsi budidaya di kawasan lindung. Rata-rata laju perubahan luas tutupan/penggunaan lahan (ha/tahun) pada kawasan lindung disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Laju perubahan luas tutupan/penggunaan lahan pada kawasan lindung

Tutupan/ Penggunaan Lahan	Kawasan Lindung				Prediksi Laju perubahan (ha/tahun)
	2007	2014	2021	2039	
Hutan	456	398	394	394	0.00
Semakbelukar	102	34	36	34	-0.10
Perkebunan	2,878	2,933	2,936	2,940	0.20
PLahanKering	5	52	62	55	-0.35
Lahanterbangun	19	31	32	32	0.01
Lahanterbuka	5	16	14	12	-0.11
Rawa	59	59	76	82	0.36
Perairan	1,538	1,538	1,511	1,511	0.00
Jumlah	5,062	5,062	5,062	5,062	

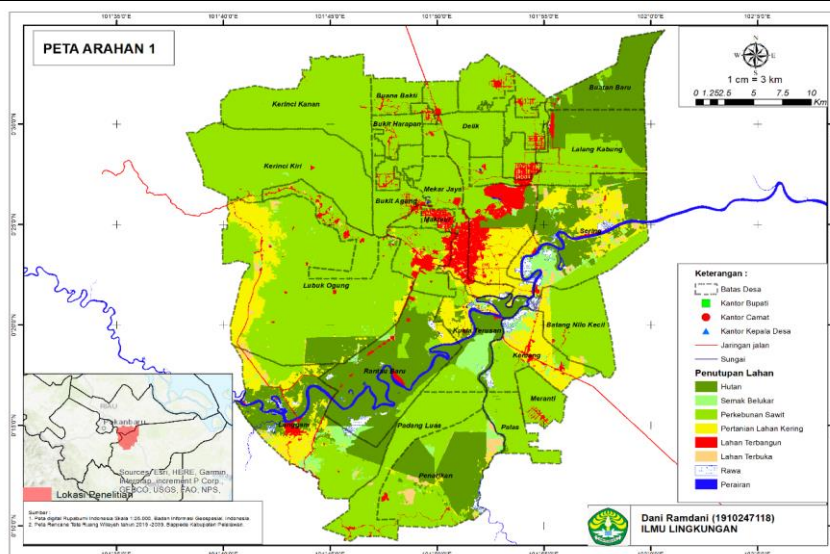
Hasil pemodelan penggunaan lahan Tahun 2028 dibuat dengan 3 skenario antara lain :

1. Arahannya 1 (Optimis)

Arahannya 1 (optimis) adalah mempertahankan tutupan hutan di kawasan lindung agar tidak terjadi konversi hutan ke jenis tutupan/penggunaan lahan lainnya dan mereboisasi semak belukar dan lahan terbuka di fungsi kawasan hutan lindung, kawasan hutan produksi, kawasan hutan rakyat dan kawasan perlindungan setempat . Hasil simulasi disajikan pada Tabel 12. dan peta disajikan pada Gambar 6.

Tabel 12. Arahannya pengendalian tutupan/penggunaan lahan (Arahannya 1)

Tutupan/ Penggunaan Lah	Kawasan Lindung	Kawasan Budidaya							Total (ha)	
		KHP	KHR	KPS	KPI	KP Pkb	Budi Day:	K Ppert		K PPMk
Hutan	441	15,911	405	2	839	3,665	1,943	1,116	129	24,451
Semakbelukar					55	1,937	432	942	7	3,373
Perkebunan	2,940	4,771	37		1,932	57,456	1,075	5,629	1,596	75,436
PLahanKering	55	1,851	24		328	6,577	102	3,982	391	13,310
Lahanterbangun	32	305			764	1,640	5	450	2,143	5,338
Lahanterbuka					102	1,136	85	470	281	2,074
Rawa	82	391			19	184	83	674	2	1,436
Perairan	1,511	259			30	89		147	17	2,053
Jumlah	5,062	23,487	467	2	4,070	72,684	3,723	13,411	4,565	127,471



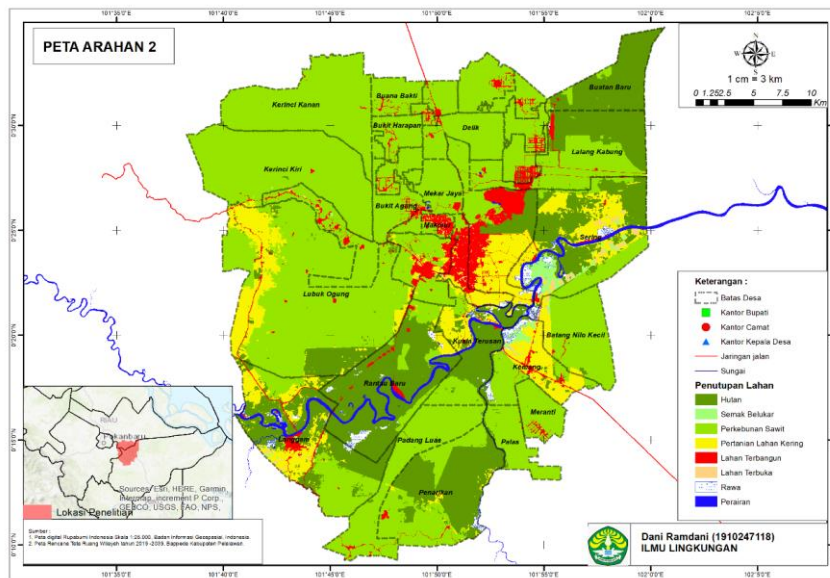
Gambar 6 Peta penutup/penggunaan lahan arahan 6

2. Arahan 2 (Moderat)

Arahan 2 (moderat) adalah mempertahankan hutan di kawasan lindung dan menghutankan semak belukar dan lahan terbuka di kawasan lindung, kawasan hutan produksi, kawasan hutan rakyat, kawasan perlindungan setempat, kawasan industri, kawasan perkebunan dan kawasan budi daya lain. Luas tutupan hutan akan bertambah menjadi 28,198 ha. Reboisasi semak belukar dan lahan terbuka memerlukan biaya pengadaan benih. Diperlukan kajian kesesuaian lahan untuk rencana lokasi dan luas areal reboisasi pada arahan 2. Luas hasil simulasi arahan 2 disajikan pada Tabel 13. dan peta disajikan pada Gambar 7.

Tabel 13 Arahan pengendalian tutupan/penggunaan lahan (Arahan 2)

Tutupan/ Penggunaan Lah	Kawasan Lindung	Kawasan Budidaya							Total (ha)	
		KHP	KHR	KPS	KPI	KP Pkb	Budi Day	K Ppert		K Ppmk
Hutan	441	15,911	405	2	996	6,738	2,460	1,116	129	28,198
Semakbelukar								942	7	949
Perkebunan	2,940	4,771	37		1,932	57,456	1,075	5,629	1,596	75,436
PLahanKering	55	1,851	24		328	6,577	102	3,982	391	13,310
Lahanterbangun	32	305			764	1,640	5	450	2,143	5,338
Lahanterbuka								470	281	751
Rawa	82	391			19	184	83	674	2	1,436
Perairan	1,511	259			30	89		147	17	2,053
Jumlah	5,062	23,487	467	2	4,070	72,684	3,723	13,411	4,565	127,471



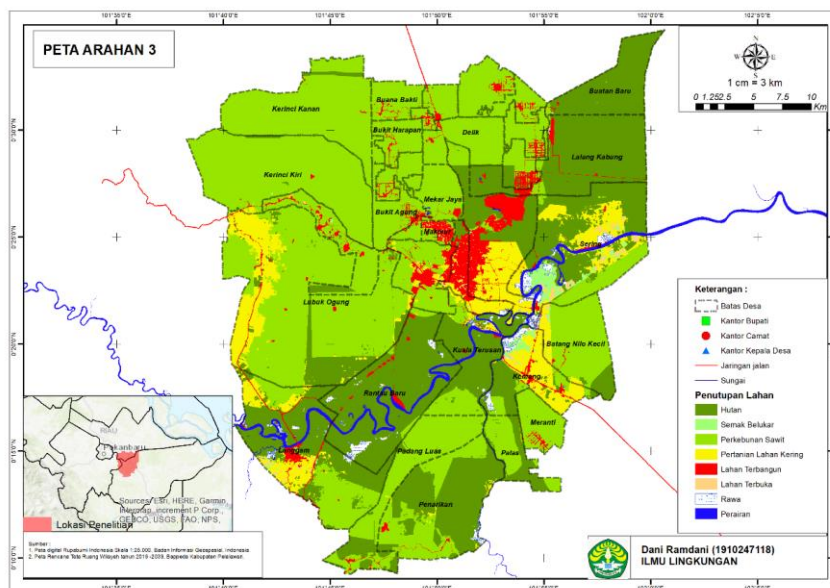
Gambar 7. Peta penutup/penggunaan lahan arahan 2

3. Arahan 3 (Pesimis)

Arahan 3 (pesimis) adalah mempertahankan hutan di kawasan lindung, menghutankan semak belukar, perkebunan, pertanian lahan kering dan lahan terbuka di kawasan lindung, kawasan hutan produksi, kawasan hutan rakyat, kawasan perlindungan setempat dan kawasa peruntukan industri. serta menghutankan semak belukar dan lahan terbuka di kawasan peruntukan perkebunan dan Kawasan budi daya lain. Luas tutupan/penggunaan lahan hutan akan menjadi 40,136 ha. Hasil simulasi arahan 3 disajikan pada table 14. dan peta disajikan pada Gambar 8.

Tabel 14 Arahan pengendalian tutupan/penggunaan lahan (Arahan 3)

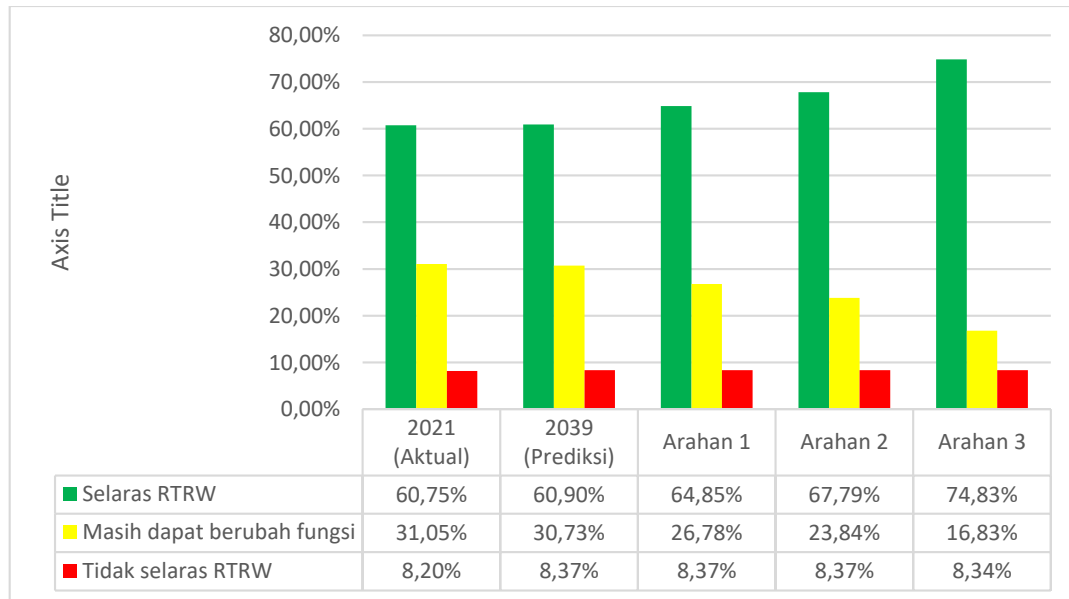
Tutupan/ Penggunaan Lah	Kawasan Lindung	Kawasan Budaya								Total (ha)
		KHP	KHR	KPS	KPI	KP Pkb	Budi Day	K Ppert	KPPmk	
Hutan	3,436	22,532	467	2	3,256	6,738	2,460	1,116	129	40,136
Semakbelukar								942	7	949
Perkebunan						57,456	1,075	5,629	1,596	65,756
PLahanKering						6,577	102	3,982	391	11,052
Lahanterbangun	32	305			764	1,640	5	450	2,143	5,338
Lahanterbuka								470	281	751
Rawa	82	391			19	184	83	674	2	1,436
Perairan	1,511	259			30	89		147	17	2,053
Jumlah	5,062	23,487	467	2	4,070	72,684	3,723	13,411	4,565	127,471



Gambar 8. Peta penutup/penggunaan lahan arahan 3

Hasil analisis menunjukkan peningkatan persentase keselarasan tutupan/ penggunaan lahan terhadap pola ruang RTRW Kecamatan Pangkalan Kerinci dan sekitarnya. Arahan 1 menunjukkan 64.85% selaras dengan RTRW dan 8.37% tidak selaras dengan RTRW. Arahan 2 menunjukkan 67.79 % selaras dengan RTRW dan 8.37% tidak selaras dengan RTRW. Arahan 3 menunjukkan 74.83% selaras dengan RTRW dan 8.34% tidak selaras dengan RTRW. Luas total tutupan hutan dalam lokasi penelitian pada arahan 1 adalah 19.2%, arahan 2 adalah 22.1% dan arahan 3 adalah 31.5%.

Perbandingan keselarasan tutupan/penggunaan lahan dengan RTRW disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik perbandingan keselarasan tutupan/penggunaan lahan

Rekomendasi arahan-arahan pengendalian tutupan/penggunaan lahan di Kecamatan Pangkalan Kerinci dan sekitarnya merupakan hasil analisis spasial

KESIMPULAN DAN SARAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Hasil interpretasi citra secara visual pada tahun 2007, 2014 dan 2021 menunjukkan perubahan tutupan/penggunaan lahan di lokasi penelitian, terdapat penurunan luas tutupan hutan seluas 13,516 ha (-41.27%) dan semak belukar mengalami penurunan seluas 2,812 ha (-26.64%) selama periode tahun 2007 – 2021.
2. Hasil analisis regresi logistik biner menunjukkan faktor kedekatan dengan pusat kota memberikan pengaruh positif terhadap semua perubahan tutupan/penggunaan lahan kecuali semak belukar dan perkebunan.
3. Model prediksi tutupan/penggunaan lahan tahun 2039 dibangun untuk menunjukkan luas dan lokasi perubahannya menggunakan CA-Markov. Perubahan terluas dari berkurangnya tutupan semak belukar 741 ha (-0.58%) dan bertambahnya areal lahan terbangun 453 ha (0.36%).
4. Arahan pengendalian perubahan tutupan/penggunaan lahan yang direkomendasikan lebih bersifat moderat (Arahan 2) dengan mempertahankan hutan di kawasan lindung, serta menghutankan semak belukar dan lahan terbuka di kawasan lindung, kawasan hutan produksi, kawasan hutan rakyat, kawasan perlindungan setempat, kawasan industri, kawasan perkebunan dan kawasan budi daya lain. serta pilihan dengan memberdayakan perusahaan yang ada di wilayah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [Bapeda] Badan Perencanaan Pembangunan Daerah. 2019. Laporan Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Pelalawan 2019 – 2039.
- [Bapeda] Badan Perencanaan Pembangunan Daerah. 2020. Laporan Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Siak 2020 – 2040.
- Deng J.S, Wang K., Hong Y., Qi J.G. 2009. Spatio Temporal Dynamics and Evolution of Land Use Change and Landscape Pattern in Response to Rapid Urbanization. *Landscape and Urban Planning*. 92: 187-198.
- Hedge NP, Muralikrishna IV, Chalapatirao KV. 2008. Settlement growth prediction using neural network and cellular automata. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 419-428.
- Hermawan E. 2011. Modeling and simulating spatial distribution pattern of urban growth using integration of GIS and Cellular automata [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor
- Jie Z. 2010. Accuracy assessment and uncertainty analysis of spatial explicit modeling for land use/cover change and urbanization: A case in Beijing metropolitan area. *Science China Earth Sciences*. 53(2): 173-80
- Le Quéré, C., R. M. Andrew, P. Friedlingstein, S. Sitch, J. Hauck, J. Pongratz, P. Pickers, J. I. Korsbakken, G. P. Peters dan J. G. Canadell. 2018. Global Carbon Budget 2018. *Journal of Earth System Science Data*, 10(4), 2141-2194.
- Margono, B., P. Potapov, S. Turubanova, F. Stolle dan M. C. Hansen. 2014. Primary Forest Cover Loss in Indonesia Over 2000–2012. *Nature Climate Change Journal*, 4(8), 730-735.
- Mas JF, Kolb M, Paeglow M, Olmedo MC, Houet T. 2013. Modeling land use/cover change changes: a comparison of conceptual approaches and softwares. *Environmental Modeling and Software*. 51: 94-111.
- Mondal Md S, Sharma N, Garg PK, Kappas M. 2016. Statistical independence test and validation of CA Markov land use land cover (LULC) prediction results. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. 19: 259-272
- Munibah K. 2008. Model spasial perubahan penggunaan lahan dan arahan penggunaan lahan berwawasan lingkungan (studi kasus DAS Cidanau, Provinsi Banten) [disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Nefeslioglu HA, Gokceogklu C, Sonmez. 2008. An Assessment on The Use of Logistic Regression and Artificial Neural Network With Different Sampling Strategies for The Preparation of Landslide Susceptibility Maps. *Engineering Technology* 97: 171-191.

- Nouri J, Gharagozlou A, Arjmandi R. 2014. Predicting urban land use changes using a CA-Markov Model. *Arabian Journal for Science and Engineering*. doi: 10.1007/s13369-014-1119-2
- Riccioli F, Asmar TE, Asmar JPE, Fratini R. 2013. Use of cellular automata in the study of variables involved in land use changes: An application in the wine production sector. *Environ Monit Assess*. 185: 5361-5374.
- Rotinsulu W, Walangitan H, Ahmad A. 2018. Analisis perubahan tutupan lahan DAS Tondano, Sulawesi Utara selama periode tahun 2002 dan 2015. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 8(2): 161-169.
- Skogen, K., H. Helland dan B. Kaltenborn. 2018. Concern about climate change, biodiversity loss, habitat degradation and landscape change: Embedded in different packages of environmental concern? *Journal for Nature Conservation*,44(1), 12-20.
- Verburg PH, Veldkamp TA, Bouma J. 1999. Land use change under conditions of high population pressure: the case of Java. *Global Environmental Change*. 9(4): 303-312
- Wahyuddin M. 2004. *Industri dan Orientasi Ekspor: Dinamika dan Analisis Spasial*. Surakarta (ID): Muhammadiyah University Press.
- Wang SQ, Zheng XQ, Zang XB. 2012. Accuracy assessments of land use change simulation based on Markovcellular automata model. *Procedia Environmental Sciences*. 13: 1238-1245.
- Yusuf SM, Murtilaksono K, Hidayat Y, Suharnoto Y. 2018. Analisis dan prediksi perubahan tutupan lahan diDAS Citarum Hulu. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 8(3): 365-375.