

MODEL *CELLULAR AUTOMATA MARKOV* UNTUK PREDIKSI PERKEMBANGAN FISIK WILAYAH PERMUKIMAN KOTA SURAKARTA MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

Arrizqa Laili Fitriana, Sawitri Subiyanto, Hana Sugiastu Firdaus^{*)}

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : riska.alf@gmail.com

ABSTRAK

Kota Surakarta merupakan salah satu wilayah dengan perkembangan kota yang pesat. Hal tersebut terjadi akibat dari peningkatan populasi dan mobilitas penduduk yang semakin tinggi. Karena faktor-faktor tersebut, maka terjadi pertumbuhan pembangunan serta perubahan penggunaan lahan yang membawa pada perubahan fisik kota. Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan penelitian perubahan penggunaan lahan di Kota Surakarta. Metode yang digunakan untuk menentukan pola arah perkembangan fisik wilayah permukiman adalah *Global Moran's Index* sedangkan untuk memprediksi perkembangan fisik wilayah Kota Surakarta tahun 2031 digunakan *software IDRISI SELVA 17* metode *CA Markov*. Data-data yang digunakan antara lain citra satelit Landsat-7 SLC-on path row 119/65 tahun 2003, satelit Landsat-7 SLC-off path row 119/65 tahun 2010, citra satelit Landsat-8 OLI/TIRS path row 119/65 tahun 2017, peta tata guna lahan Kota Surakarta tahun 2010, peta RBI skala 1:25.000 tahun 2001, peta RTRW Kota Surakarta tahun 2011-2031, peta jaringan jalan tahun 2011, serta peta batas administrasi Kota Surakarta tahun 2011. Hasil dari *Global Moran's I* menunjukkan bahwa pola perkembangan fisik permukiman Kota Surakarta adalah acak (random) dengan arah ekspansi bergerak keluar wilayah Kota Surakarta menuju ke selatan yaitu Kabupaten Sukoharjo. Prediksi perkembangan Kota Surakarta tahun 2031 untuk peruntukkan lahan permukiman sebesar 81,7% yang mengarah keluar menuju selatan (Kabupaten Sukoharjo) sedangkan tutupan lahan kosong sebesar 10,7% mengarah ke utara (Kabupaten Karanganyar). Kesesuaian yang diperoleh dari peta prediksi perkembangan fisik wilayah Kota Surakarta tahun 2031 dengan peta RTRW Kota Surakarta tahun 2011-2031 yaitu sebesar 61,3%. Persentase kesesuaian tersebut mengindikasikan bahwa hasil prediksi *CA Markov* bersifat substansial dengan rentang kepercayaan 61%-80%.

Kata kunci : *CA Markov, Global Moran's I, Landsat, Kota Surakarta, SIG.*

ABSTRACT

Surakarta City is one of the areas with the rapid development of the city. This is the result of increased population and population mobility. Because of these factors, there is a growth of development as well as changes in land use that lead to the physical changes of the city. Based on above, it is necessary to research the land use change in Surakarta City. The method used to determine the direction pattern of the physical development of the settlement area is Global Moran's Index while to predict the physical development of the Surakarta City area in 2031 used IDRISI SELVA 17 software with CA Markov method. The data used are Landsat-7 SLC-on path row 119/65 in 2003, Landsat-7 SLC-off path row 119/65 in 2010, Landsat-8 OLI / TIRS satellite row image 119 / 65 year 2017, land use map of Surakarta city in 2010, map of RBI scale 1:25.000 in 2001, Surakarta RTRW map in 2011-2031, road network map 2011, and administrative boundary map of Surakarta city in 2011. The results of Global Moran's I show that the physical development pattern of Surakarta City's settlement is random with the direction of expansion moving out of Surakarta City towards the south of Sukoharjo Regency. Prediction of Surakarta City development in 2031 for the allocation of settlement land of 81,7% that leads out to the south (Sukoharjo Regency) while the empty land plot of 10,7% leads north (Karanganyar Regency). Compliance obtained from the map predicted the physical development of the Surakarta region in 2031 with the map of Surakarta's RTRW in 2011-2031 at 61,3%. The percentage of conformity indicates that the CA Markov prediction results are substantial with a confidence range of 61% -80%.

Keywords: *CA Markov, Global Moran's Index, Landsat, Surakarta City, GIS.*

^{*)} Penulis, Penanggungjawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Kota Surakarta merupakan kota kesultanan di Jawa Tengah yang identik dengan pusat kebudayaan dan dikenal sebagai *the spirit of java*. Hal tersebut dapat dilihat dari berbagai situs yang tersebar di Kota Surakarta sehingga menarik wisatawan untuk berkunjung. Letak wilayahnya yang strategis, menyebabkan Kota Surakarta mengalami peningkatan pembangunan aksesibilitas dan sarana prasarana penunjang. Seiring dengan tingginya populasi dan mobilitas penduduk, kebutuhan akan lahan terbangun pun juga semakin meningkat. Banyaknya pembangunan yang dilakukan, maka akan mendesak perkembangan fisik wilayah Kota Surakarta.

Perkembangan wilayah kota merupakan salah satu fenomena yang terjadi karena pesatnya perkembangan penduduk dan mobilitas manusia. Hal tersebut mendorong makin meningkatnya penggunaan lahan. Perubahan penggunaan lahan wilayah kota yang terjadi, akan membentuk suatu pola dan arah perkembangan kota.

Perubahan tersebut juga dapat ditinjau dari peningkatan aktivitas kegiatan sosial ekonomi dan pergerakan arus mobilitas penduduk kota yang pada akhirnya menuntut kebutuhan ruang bagi permukiman, karena dalam lingkungan perkotaan, perumahan permukiman menempati persentase penggunaan lahan terbesar dibandingkan dengan penggunaan lainnya, sehingga permukiman merupakan komponen utama dalam pembentukan struktur suatu kota (Yunus, 2000).

Perkembangan fisik wilayah permukiman ini mendorong ekspansi penggunaan lahan yang memberikan pengaruh terhadap kawasan di sekitarnya, salah satu hasil dari pengaruh tersebut adalah terjadi pengurangan penggunaan lahan kosong akibat semakin banyaknya pembangunan permukiman. Semakin luas lahan kosong yang ada, maka semakin besar pula peluang terbentuknya permukiman-permukiman baru yang menempati penggunaan fisik wilayah lahan kosong.

Perkembangan fisik wilayah Kota Surakarta tersebut dapat diprediksi secara spasial dengan melihat *cell* hidup dan *cell* mati pada susunan tutupan lahan dalam citra satelit. RTRW digunakan sebagai acuan prediksi, sehingga dapat dilakukan pengawasan terhadap perkembangan fisik kota hingga tahun 2031 agar tetap sesuai RTRW yang telah dibuat serta dapat dikendalikan dengan benar dan bijak oleh Pemerintah Kota Surakarta.

Hal tersebut mendasari penelitian ini untuk menentukan pola dan arah perubahan perkembangan fisik wilayah Kota Surakarta tahun 2003, 2010, dan 2017 serta membuat suatu prediksi perkembangan fisik wilayah Kota Surakarta tahun 2031 dengan *Cellular Automata Markov* sebagai salah satu alat monitoring dan pengendalian perkembangan fisik wilayah Kota Surakarta beberapa tahun mendatang.

I.2. Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana menentukan pola dan arah perkembangan fisik wilayah permukiman Kota Surakarta tahun 2003, 2010, dan 2017?
2. Bagaimana prediksi perkembangan fisik wilayah permukiman Kota Surakarta tahun 2031?

I.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Menentukan pola dan arah perkembangan fisik wilayah permukiman Kota Surakarta tahun 2003, 2010, dan 2017.
2. Membuat prediksi perkembangan fisik wilayah permukiman Kota Surakarta pada tahun 2031.

I.4. Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian terbatas hanya pada Kota Surakarta.
2. Metode yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut:
 - Mengklasifikasikan tutupan lahan dengan metode digitasi untuk membuat peta penggunaan lahan Kota Surakarta tahun 2003, 2010, dan 2017.
 - Analisis *global moran's I* yang digunakan untuk menentukan pola dan arah perubahan perkembangan fisik wilayah.
 - *Cellular automata markov* yang digunakan untuk membuat prediksi perkembangan fisik wilayah Kota Surakarta tahun 2031.
3. Data primer yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra satelit Landsat-7 ETM+ SLF-on *path row* 119/65 tahun 2003, citra satelit Landsat-7 ETM+ SLC-off *path row* 119/65 tahun 2010 dan citra satelit Landsat-8 OLI/TIRS *path row* 119/65 tahun 2017.
4. Data sekunder / data pendukung lain yang digunakan adalah peta tata guna lahan Kota Surakarta tahun 2010, peta RBI skala 1:25.000 tahun 2001, peta RTRW tahun 2011-2031, peta batas administrasi wilayah tahun 2011, serta peta jaringan jalan dan sungai Kota Surakarta tahun 2011.
5. Perkembangan fisik wilayah Kota Surakarta yang dilakukan dalam penelitian ini hanya mencakup penggunaan lahan permukiman dan lahan kosong.
6. Tutupan lahan yang didigitasi meliputi lahan kosong, permukiman, sawah, industri, dan sungai.
7. Koreksi geometrik citra dengan peta RBI 1:25.000 dan jumlah GCP (*Ground Control Point*) sebanyak 16 titik
8. *Confidence level* kesesuaian prediksi tutupan lahan dilakukan sesuai *confidence level* menurut Landis & Koch (1977).

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Penggunaan Lahan

Menurut Saefulhakim dan Nasution (1995), penggunaan lahan merupakan suatu proses yang dinamis. Perubahan penggunaan lahan terjadi secara terus-menerus, sebagai hasil dari perubahan pola dan besarnya aktifitas manusia. Dengan demikian masalah yang berkaitan dengan lahan merupakan masalah yang kompleks.

II.1.1 Permukiman

Permukiman adalah bagian dari lingkungan hidup diluar kawasan lindung, baik berupa kawasan perkotaan maupun perdesaan yang berfungsi sebagai tempat tinggal atau lingkungan hunian dan tempat kegiatan yang mendukung perikehidupan dan penghidupan (UU No.4 Tahun 1992, tentang Perumahan dan Permukiman).

II.1.2 Lahan Kosong

Permen Agraria/Kepala BPN No.3 Tahun 1998 tentang Pemanfaatan Tanah Kosong untuk Tanaman Pangan mendefinisikan lahan kosong sebagai lahan yang tidak dimanfaatkan sesuai dengan sifat dan tujuan pemberian haknya atau Rencana Tata Ruang Wilayah yang berlaku.

II.2. Perkembangan Wilayah

Yunus (2000) menyebutkan proses perkembangan spasial secara fisik tampak ada 2 bentuk perkembangan yaitu proses sentrifugal dan proses perkembangan secara sentripetal.

II.2.1 Konsep Perkembangan Kota

1. Tipe Konsentris
2. Tipe Memanjang
3. Tipe Memencar

II.2.2 Faktor Perkembangan Wilayah

1. Aksesibilitas

Menurut Black (1981) aksesibilitas adalah suatu ukuran kenyamanan atau kemudahan lokasi tata guna lahan untuk berinteraksi satu sama lain, dan mudah atau sulitnya lokasi tersebut dicapai melalui transportasi

2. Kekayaan Sumber Daya Alam

Suatu wilayah yang memiliki sumber daya melimpah dapat menjadi pusat pertumbuhan. Pemasatan itu akan diikuti oleh pembangunan sarana dan prasarana penunjang seperti rumah, pasar, terminal, industri, sekolah, dan lain sebagainya.

3. Daya Dukung Fisik

Kondisi fisik wilayah merupakan salah satu faktor penyebab berkembangnya suatu wilayah menjadi pusat pertumbuhan, misalnya kondisi fisik yang datar akan berkembang lebih cepat dibandingkan dengan kondisi wilayah yang berbukit-bukit atau lembah yang curam.

4. Kondisi Sosial Budaya Masyarakat

Kondisi sosial budaya suatu masyarakat dapat mempengaruhi perkembangan suatu wilayah menjadi pusat pertumbuhan dan perkembangan bagi wilayah yang ada di sekitarnya. Misalnya suatu kehidupan masyarakat yang telah modern lebih bersifat terbuka untuk menerima pembaharuan-pembaharuan dan dapat menjadi pusat pertumbuhan bagi wilayah-wilayah yang ada di sekitarnya. Sedangkan pada kehidupan masyarakat tradisional sangat sulit untuk menerima pembaharuan-pembaharuan yang ada di sekitar wilayahnya.

5. Adanya Industri

Perkembangan industri pada suatu wilayah mengakibatkan munculnya lapangan kerja. Keberadaan industri pada suatu wilayah itu dapat memberikan berbagai peluang aktivitas ekonomi dan selanjutnya menjadi pusat pertumbuhan bagi wilayah-wilayah yang ada di sekitarnya.

II.3. Global Moran's Index

Autokorelasi Spasial (*Global Moran's I*) mengukur autokorelasi spasial berdasarkan kedua lokasi fitur dan nilai fitur secara bersamaan. Dengan seperangkat fitur dan atribut terkait, ia mengevaluasi apakah pola yang diekspresikan berkerumun, terdispersi, atau acak. Autokorelasi Spasial (*Global Moran's I*) adalah statistik inferensial, yang berarti bahwa hasil analisis selalu ditafsirkan dalam konteks hipotesis nolnya. Untuk statistik *Global Moran's I*, hipotesis nol menyatakan bahwa atribut yang dianalisis didistribusikan secara acak diantara fitur di area studi. Autokorelasi Spasial (*Global Moran's I*) menghasilkan lima nilai: *Indeks Moran's*, *Expected Index*, *Varians*, *z-score*, dan *p-value*.

II.4. Cellular Automata Markov

Dalam Baja S (2012), automata seluler (*cellular automata*) adalah model sederhana dari proses terdistribusi spasial (*spatial distributed process*) dalam GIS. Data terdiri dari susunan sel-sel (grid), dan masing-masing diatur sedemikian rupa sehingga hanya diperbolehkan berada di salah satu dari beberapa keadaan. Dengan demikian, pemodelan dengan metode ini hanya dilakukan dalam GIS raster.

Modul Markov menganalisis sepasang *image* penutup tanah dan menghasilkan matriks probabilitas transisi, matriks area transisi, dan satu set *image* probabilitas bersyarat. Matriks probabilitas transisi adalah *file* teks yang mencatat probabilitas bahwa setiap kategori tutupan lahan akan berubah ke setiap kategori lainnya. Matriks area transisi adalah *file* teks yang mencatat jumlah piksel yang diharapkan dapat berubah dari masing-masing jenis tutupan lahan ke jenis tutupan lahan lainnya selama jumlah unit waktu yang ditentukan. Dalam kedua *file* ini, baris mewakili kategori tutupan lahan yang lebih tua dan kolomnya mewakili kategori yang lebih baru. *Image* probabilitas bersyarat mengindikasikan kemungkinan bahwa setiap jenis tutupan lahan akan ditemukan pada setiap piksel setelah jumlah unit waktu yang ditentukan.

III. Metodologi Penelitian

III.1. Perangkat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu :

1. Perangkat keras (*hardware*)
 - a. GPS *Handheld* yang digunakan untuk pengambilan sampel.
 - b. Perangkat komputer yang memiliki spesifikasi sebagai berikut :
 - 1) Merek Laptop : HP 430
 - 2) Sistem Operasi : Windows 7
 - 3) Processor : Intel(R) Core (TM) i3 CPU @ 2.40GHz
 - 4) RAM : 2.00 GB
 - 5) Kamera *Handphone* untuk mengambil foto lokasi sampel
2. Perangkat lunak (*software*)
 - a. Microsoft Office (Ms. Word 2013, Ms. Visio 2013, Ms. Excel 2013) untuk pengolahan data dan penyusunan skripsi.
 - b. ArcGIS 10.2 digunakan untuk pengolahan dan analisis spasial.
 - c. IDRISI SELVA 17 digunakan prediksi perkembangan wilayah.

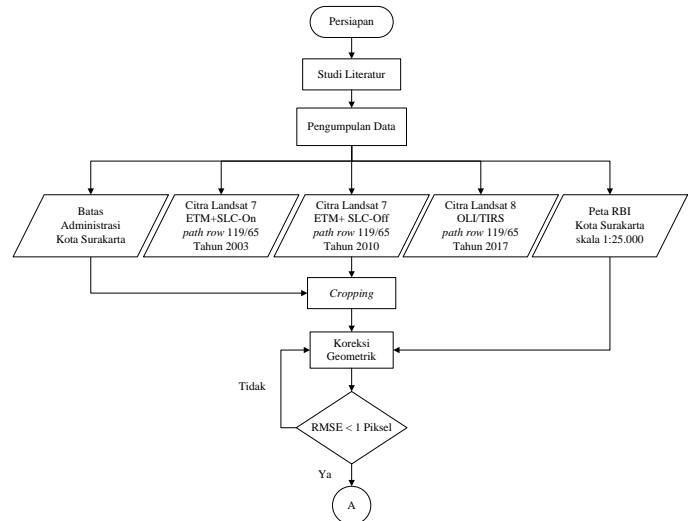
III.2. Data Penelitian

Data-data penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

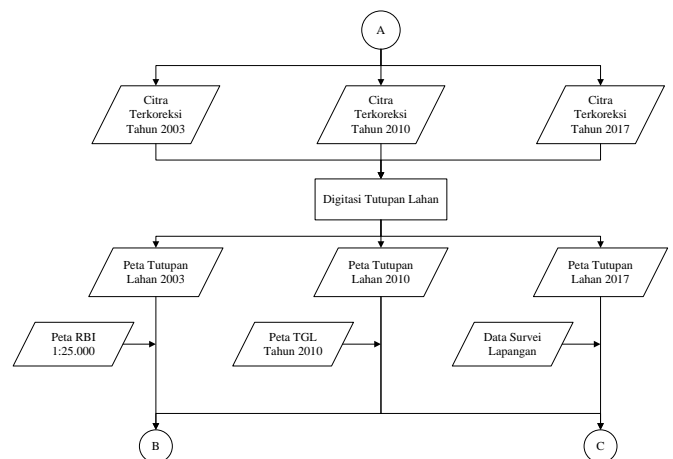
1. Data Primer
 - a. Citra satelit Landsat-7 ETM+ SLC-on *path row* 119/65 tahun 2003
 - b. Citra satelit Landsat-7 ETM+ SLC-off *path row* 119/65 tahun 2010
 - c. Citra satelit Landsat-8 OLI/TIRS *path row* 119/65 tahun 2017
2. Data Sekunder
 - a. Peta Tata Guna Lahan Kota Surakarta tahun 2010
 - b. Peta RBI skala 1:25.000 tahun 2001
 - c. Peta batas administrasi wilayah tahun 2011
 - d. Peta RTRW tahun 2011-2031
 - e. Peta jaringan jalan tahun 2011

III.3. Diagram Alir Penelitian

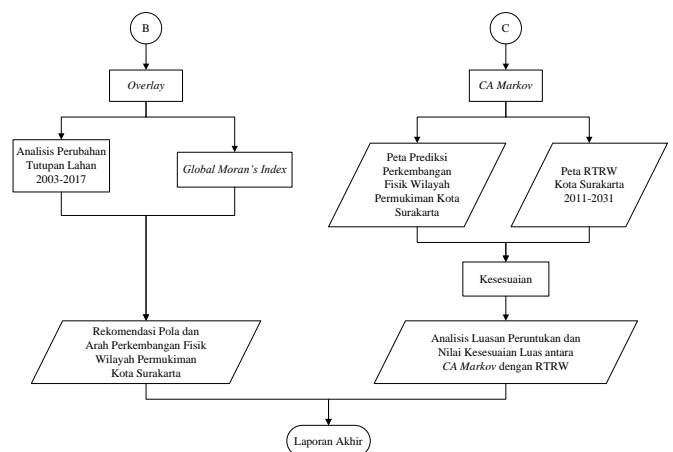
Pada **Gambar 1**, **Gambar 2**, dan **Gambar 3** merupakan diagram alir penelitian secara umum.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian Secara Umum



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian Secara Umum



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian Secara Umum

Adapun tahapan penelitian ini secara garis besar, yaitu:

1. Persiapan

Tahap ini terdiri dari studi literatur, pengadaan data-data dan bahan yang akan digunakan serta penentuan lokasi penelitian. Studi literatur dilakukan dengan memperdalam mengenai tema penelitian dan mencari referensi-referensi terkait dengan tema penelitian serta menambah wawasan berkaitan dengan ruang lingkup penelitian.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini diperoleh dari instansi terkait yaitu Bappeda Kota Surakarta. Data yang dikumpulkan meliputi Peta Batas Administrasi Kota Surakarta, Peta Jaringan Jalan dan Sungai Kota Surakarta, Peta RTRW Kota Surakarta tahun 2011-2031, Peta RBI Kota Surakarta, Peta Tata Guna Lahan Kota Surakarta tahun 2010, Citra Satelit Landsat 7 SLC-on tahun 2003 *path row* 119/65, Citra Satelit Landat 7 SLC-off tahun 2010 *path row* 119/65 dan Citra Landsat 8 OLI/TIRS tahun 2017 *path row* 119/65.

3. Pengolahan

Dalam tahap ini pengolahan data awal dilakukan dengan menggunakan *software* pengolah citra yaitu koreksi geometrik yang dilanjutkan digitasi tutupan pada masing-masing citra yang sudah terkoreksi, *overlay* peta tutupan lahan dan penentuan pola arah perkembangan wilayah menggunakan *Global Moran's Index* dalam *software ArcGIS 10.2*, serta prediksi perkembangan wilayah yang diolah dengan *software IDRISI SELVA 17*.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1. Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik merupakan koreksi yang digunakan untuk meningkatkan ketelitian dengan menggunakan titik kontrol atau GCP. GCP yang dimaksud adalah titik yang diketahui koordinatnya secara tepat dan dapat terlihat pada citra satelit seperti perempatan jalan. Metode yang digunakan untuk mengukur kualitas geometri adalah *image to image* dengan peta dasar yang digunakan sebagai acuan adalah peta RBI Kota Surakarta skala 1:25.000.

Perhitungan koreksi geometrik citra Landsat menggunakan metode transformasi *polynomial 1*, 16 GCPs (*Ground Control Points*) dan *resampling nearest neighbour*. Koreksi geometrik citra Landsat menghasilkan RMSE sebagai berikut:

Tabel 1 Nilai RMSE Data Citra Landsat

No	Data Citra Landsat	RMSE (piksel)
1	13 Mei 2003	0,015091
2	19 Juli 2010	0,118964
3	8 Maret 2017	0,016190

Nilai RMSE < 1 piksel, maka citra dianggap sudah memenuhi syarat sehingga dapat dilakukan pengolahan pada tahap selanjutnya.

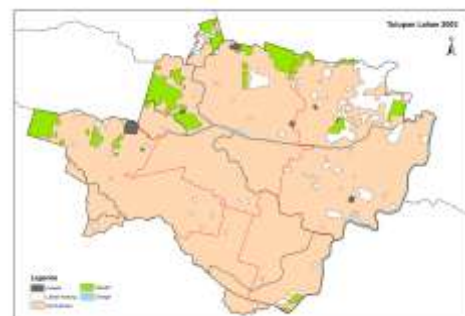
IV.1.1 Analisis Tutupan Lahan Kota Surakarta

Tutupan lahan yang sudah terdigitasi di *calculate geometry* sehingga diperoleh luas tutupan lahan pada masing-masing tahun.

Tutupan lahan permukiman Kota Surakarta pada tahun 2003 semakin meningkat pada tahun 2010 dan 2017 dengan persentase 85,35% (2003), 88,54% (2010), dan 92,26% (2017). Sedangkan pada tutupan lahan kosong terjadi penurunan persentase luas yakni 6,52% (2003), 4,96% (2010), dan 4,37% (2017). Uraian luas tutupan lahan masing-masing tahun dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2 Luas Tutupan Lahan

Keterangan	2003	
	Luas (Ha)	%
Lahan Kosong	304,42	6,53
Permukiman	3981,44	85,36
Sawah	280,33	6,01
Industri	23,62	0,51
Sungai	74,73	1,60
Jumlah	4664,53	100
Keterangan	2010	
	Luas (Ha)	%
Lahan Kosong	231,65	4,97
Permukiman	4129,96	88,54
Sawah	204,57	4,39
Industri	23,62	0,51
Sungai	74,73	1,60
Jumlah	4664,53	100
Keterangan	2017	
	Luas (Ha)	%
Lahan Kosong	203,87	4,37
Permukiman	4303,47	92,26
Sawah	58,84	1,26
Industri	23,62	0,51
Sungai	74,73	1,60
Jumlah	4664,53	100



Gambar 4 Peta Tutupan Lahan Tahun 2003



Gambar 5 Peta Tutupan Lahan Tahun 2010



Gambar 6 Peta Tutupan Lahan Tahun 2017

IV.1.2 Analisis Perubahan Tutupan Lahan

Dari *overlay* peta tutupan lahan 2003 dengan peta tutupan lahan 2010 menunjukkan hasil perubahan tutupan lahan terbesar terjadi pada perubahan tutupan lahan kosong menjadi permukiman sebesar 48,1% sedangkan perubahan terkecil terjadi pada perubahan tutupan lahan permukiman menjadi lahan kosong yaitu sebesar 2,2%.

Tabel 3 Luas Perubahan Tutupan Lahan 2003-2010

No	Keterangan		Luas Perubahan	
			Ha	%
1	Lahan Kosong	Permukiman	102,57	48,12
2	Lahan Kosong	Sawah	5,71	2,68
3	Permukiman	Lahan Kosong	4,67	2,19
4	Permukiman	Sawah	9,37	4,40
5	Sawah	Lahan Kosong	30,85	14,47
6	Sawah	Permukiman	59,99	28,14
Jumlah			213,15	100

Dari *overlay* peta tutupan lahan 2010 dengan peta tutupan lahan 2017 menunjukkan hasil perubahan tutupan lahan terbesar terjadi pada perubahan tutupan lahan sawah menjadi permukiman sebesar 44,4% sedangkan perubahan terkecil terjadi pada perubahan tutupan lahan kosong menjadi sawah yaitu sebesar 1,1%

Tabel 4 Luas Perubahan Tutupan Lahan 2010-2017

No	Keterangan		Luas Perubahan	
			Ha	%
1	Lahan Kosong	Permukiman	91,36	28,81
2	Lahan Kosong	Sawah	3,48	1,10
3	Permukiman	Lahan Kosong	44,05	13,89
4	Permukiman	Sawah	14,53	4,58
5	Sawah	Lahan Kosong	23,01	7,25
6	Sawah	Permukiman	140,73	44,37
Jumlah			317,16	100

IV.2. Analisis Pola Arah Perkembangan Kota Surakarta

IV.2.1 Pola Perkembangan Kota Surakarta

Analisis pola perkembangan Kota Surakarta dilakukan dengan metode *Global Moran's I*. Hasil yang diperoleh dari indeks moran menunjukkan bahwa pola perkembangan fisik wilayah Kota Surakarta pada tahun 2003-2017 adalah acak (*random*). *Moran's Index* yang dihasilkan pada tutupan lahan tahun 2003 sebesar 0,028, tahun 2010 sebesar -0,30, dan 2017 sebesar 0,022. Dengan *Moran's Index* > I_0 maka tutupan lahan tahun 2003-2017 mempunyai autokorelasi spasial positif dengan perhitungan seperti berikut:

$Moran's Index_{2003} : 0,028 > I_0 = -1/n-1 = -0,0103$

$Moran's Index_{2010} : -0,30 > I_0 = -1/n-1 = -0,0103$

$Moran's Index_{2017} : 0,022 > I_0 = -1/n-1 = -0,0103$

IV.2.2 Arah Perkembangan Kota Surakarta

Perkembangan fisik wilayah permukiman Kota Surakarta yang dilihat dari perubahan penutup lahan tahun 2003-2017 menunjukkan bahwa arah perkembangan fisik permukiman Kota Surakarta adalah menuju keluar wilayah Kota Surakarta yaitu mengarah ke selatan (Kabupaten Sukoharjo).

Selain penggunaan lahan permukiman di dalam Kota Surakarta sudah maksimal, hal ini juga terjadi karena Kabupaten Sukoharjo mempunyai kesediaan ruang lahan kosong yang lebih besar untuk fisik permukiman. Selain itu, banyaknya lahan industri yang ada di Kabupaten Sukoharjo menyebabkan munculnya lapangan kerja memberikan berbagai peluang aktivitas ekonomi dan selanjutnya menjadi pusat pertumbuhan bagi wilayah-wilayah yang ada di sekitarnya. Wilayah pemekaran Kota Surakarta yaitu Solo Baru, semakin mempercepat pergerakan pertumbuhan pembangunan di bagian selatan.

Perkembangan fisik pun tak lepas dari kemudahan aksesibilitas yang tersedia. Surakarta bagian selatan memiliki kemudahan aksesibilitas yang lebih baik dibanding dengan Surakarta bagian utara. Walaupun kondisi jaringan jalan Surakarta bagian utara lebih bervariasi, namun dengan kondisi topografinya yang berbukit-bukit (berbatasan dengan Kabupaten Karanganyar) justru menurunkan tingkat aksesibilitas karena kondisi fisik yang datar akan

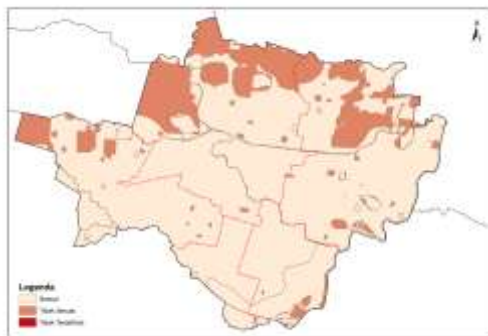
berkembang lebih cepat dibandingkan dengan kondisi wilayah yang berbukit-bukit.

IV.3. Prediksi CA Markov 2031

Pada pengolahan CA Markov, sebelum prediksi dilakukan maka ditentukan terlebih dahulu kesesuaian modul markov proyeksi 2017 dengan peta tutupan lahan digitasi 2017. Dari hasil yang diperoleh menunjukkan persentase kesesuaian modul markov proyeksi 2017 dengan peta tutupan lahan digitasi 2017 sebesar 80,016% maka dengan persentase kesesuaian tersebut dapat dilakukan pemrosesan tahap selanjutnya yakni CA Markov.

Tabel 5 Kesesuaian Tutupan Lahan Digitasi 2017 dengan Modul Markov Prediksi 2017

Keterangan TGL 2017	Keterangan CA 2017	Kesesuaian	Luas (Ha)
Sawah	-	Tidak Terdefinisi	0,05
Industri	-	Tidak Terdefinisi	0,18
Sungai	-	Tidak Terdefinisi	4,38
Lahan Kosong	Permukiman	Tidak Sesuai	0,36
Permukiman	Lahan Kosong	Tidak Sesuai	2,53
Lahan Kosong	Sawah	Tidak Sesuai	0,04
Permukiman	Permukiman	Sesuai	1012,00
Sawah	Sawah	Sesuai	13,38
....
Industri	Industri	Sesuai	3,72



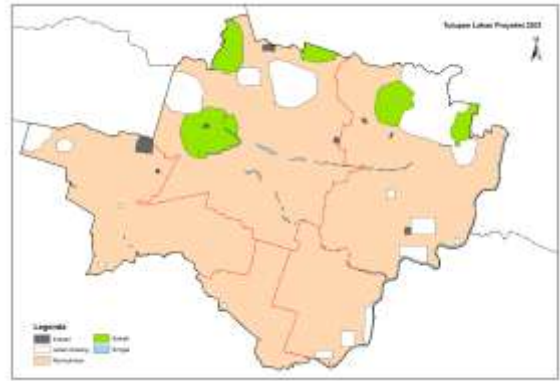
Gambar 7 Peta Kesesuaian Prediksi 2017

IV.3.1 Analisis Luasan Peruntukkan

Hasil yang diperoleh dari pengolahan CA Markov menunjukkan luas peruntukkan lahan permukiman sebesar 81,7% sedangkan tutupan lahan kosong sebesar 10,7%

Tabel 6 Luas Peruntukkan Lahan Tahun 2031

Keterangan	Luas (Ha)	%
Lahan Kosong	500,58	10,74
Permukiman	3809,10	81,71
Sawah	285,35	6,12
Industri	23,48	0,50
Sungai	43,19	0,93
Jumlah	4661,71	100



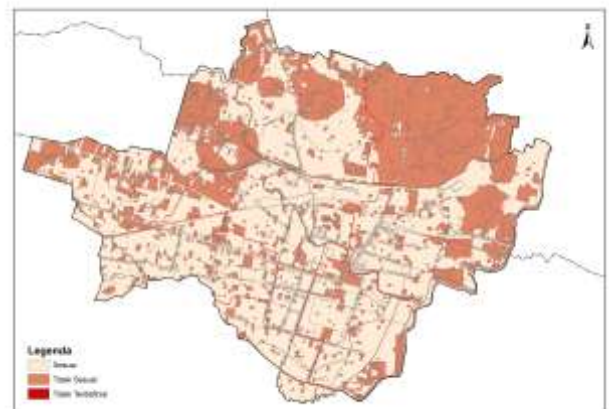
Gambar 8 Peta Prediksi Perkembangan Fisik Kota Surakarta Tahun 2031

IV.3.2 Analisis Nilai Kesesuaian Luas Antara CA Markov dengan RTRW

Dari prediksi yang dilakukan, maka diperoleh nilai kesesuaian luas antara hasil prediksi dengan CA Markov dengan Peta RTRW Kota Surakarta tahun 2011-2031 dengan metode overlay identity sebesar 61,26%.

Tabel 7 Kesesuaian Luas RTRW dan CA Markov

Keterangan RTRW	Keterangan CA Markov	Kesesuaian	Luas
Permukiman	-	Tidak Terdefinisi	0,00
Sawah	-	Tidak Terdefinisi	0,00
Industri	-	Tidak Terdefinisi	0,00
Industri	Lahan Kosong	Tidak Sesuai	0,62
Kantor	Sawah	Tidak Sesuai	0,14
Pendidikan	Permukiman	Tidak Sesuai	1,09
Permukiman	Permukiman	Sesuai	45,78
Sawah	Sawah	Sesuai	1,04
....
Tanah Kosong	Lahan Kosong	Sesuai	2,92



Gambar 9 Peta Kesesuaian Tutupan Lahan Prediksi 2031

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

1. Karakteristik perkembangan Kota Surakarta tahun 2003-2017 secara spasial dapat diidentifikasi pola arah perkembangannya. Pola perkembangan fisik wilayah Kota Surakarta tahun 2003, 2010, dan 2017 diasumsikan dengan menggunakan *Global Moran's Index*. Hasil yang diperoleh menunjukkan *Moran's Index* yang dihasilkan pada tutupan lahan tahun 2003 sebesar 0,028, tahun 2010 sebesar -0,30 dan 2017 sebesar 0,022. Dengan *Moran's Index* $> I_0$ maka tutupan lahan tahun 2003-2017 mempunyai autokorelasi spasial positif artinya memiliki korelasi spasial dengan pola perkembangan wilayah acak (*random*). Dari perubahan tutupan lahan tahun 2003-2017 terlihat bahwa arah perkembangan fisik wilayah permukiman Kota Surakarta adalah keluar menuju ke selatan (Kabupaten Sukoharjo).
2. Perkembangan Kota Surakarta tahun 2031 diprediksi menggunakan *Cellular Automata Markov*. Prediksi perkembangan Kota Surakarta tahun 2031 untuk peruntukkan lahan permukiman sebesar 81,7% yang mengarah keluar menuju selatan (Kabupaten Sukoharjo) sedangkan tutupan lahan kosong sebesar 10,7% mengarah ke utara (Kabupaten Karanganyar). Kesesuaian yang diperoleh dari peta prediksi perkembangan tahun 2031 dengan peta RTRW Kota Surakarta tahun 2011-2031 yaitu sebesar 61,26%. Persentase kesesuaian tersebut mengindikasikan bahwa prediksi CA Markov bersifat substansial dengan rentang kepercayaan 61%-80%.

V.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya, disarankan untuk mencari literatur sebanyak-banyaknya yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan.
2. Dalam melakukan penelitian, sebaiknya memastikan ketersediaan data yang akan digunakan.
3. Dalam penggunaan data citra satelit sebagai dasar klasifikasi tutupan lahan, sebaiknya menggunakan citra satelit resolusi tinggi agar lebih mudah dalam pendefinisian kelas tutupan lahan.
4. Data temporal citra satelit untuk kajian perkembangan kota sebaiknya menggunakan frekuensi temporal tinggi agar dinamika pola perkembangannya lebih memudahkan dalam mengetahui proses perkembangannya.
5. Dalam melakukan digitasi sebaiknya menggunakan *trace tools* untuk meminimalisir eror topologi.
6. Dalam melakukan penelitian, disarankan menggunakan *software* yang cocok untuk mengkonversi *vector to raster* karena berpengaruh pada luasan.

7. Dalam melakukan penelitian, seyogyanya menggunakan *analysis tools overlay identity* untuk membandingkan data karena tidak menghilangkan atribut data masukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Baja, Sumbangan. 2012.** Perencanaan Tata Guna Lahan dalam Pengembangan Wilayah – Pendekatan Spasial dan Aplikasinya. Yogyakarta.
- Black, J.A. 1981.** *Urban Transport Planning: Theory and Practice*. London. Cromm Helm.
- Landis, J.R., Koch, G.G. 1977.** The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometric*. 33:159-174.
- Saeifulhakim, R.S. dan Nasution. 1995.** *Rural Land Use Management For Economic Development (case study for indonesia)*. Laboratory of land resources development planning department of soil sciences. Faculty of agriculture. Bogor agricultural university (IPB). Bogor.
- Yunus, H.S. 2000.** Teori dan Model Struktur Keruangan Kota. Yogyakarta : Fakultas Geografi UGM

Peraturan Perundangan :

- Undang-undang Nomor 4 Tahun 1992 tentang Perumahan dan Permukiman.
- Peraturan Menteri Agraria/Kepala BPN No.3 Tahun 1998 tentang Pemanfaatan Tanah Kosong untuk Tanaman Pangan.