

**MODELING SPATIAL INTEGRATION PROBABILISTIC  
MARKOV CHAIN AND CELLULAR AUTOMATA FOR  
THE STUDY OF LAND USE CHANGES REGIONAL SCALE  
IN DIY YOGYAKARTA**

**PEMODELAN SPASIAL PROBABILISTIK INTEGRASI  
MARKOV CHAIN DAN CELLULAR AUTOMATA UNTUK  
KAJIAN PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN  
SKALA REGIONAL DI PROVINSI DAERAH ISTIMEWA  
YOGYAKARTA**

**Bowo Susilo**

Program Studi Kartografi & Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi UGM  
email: bsusilo\_geo@yahoo.co.id

**ABSTRACT**

*Complexity phenomena of real world is the main obstacle facing researchers to study it directly. Changes in land use is a complex phenomenon, which triggered a variety of factors and cause various effects. Modeling is a method widely used to study complex phenomena. This study aim to assess changes in land mountains, making simulations and predictions of changes in land use mapping. The study was conducted on a regional scale and located in DIY Yogyakarta. Changes in land use that were examined is the period 1996 - 2000, then used as the basis for the prediction of changes in land use from 2000 to 2006. The method used is a Markov chain integration and Cellular Automata (CA). The results showed changes in land use that occurred during the period 1996 - 2000 is an area of 1720.2 ha. The most broad categories of changes are changes of land up the field to 1526.1 ha. Integration of Cellular Automata Markov chain and can be used to construct a spatial prediction, land use change in 2000 - 2006 in the study area. Prediction results of the integration of spatial and Cellular Automata Markov chain is explicitly so it can be used to create maps of land use change predictions.*

*Keyword: changes of landuse, model, markov chain and cellular automata*

**ABSTRAK**

Kompleksitas fenomena dunia nyata merupakan kendala utama yang dihadapi peneliti untuk mengkajinya secara langsung. Perubahan penggunaan lahan merupakan fenomena kompleks, yang dipicu beragam faktor dan menimbulkan berbagai dampak. Pemodelan merupakan metode yang banyak digunakan untuk kajian fenomena kompleks. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perubahan penggunaan lahan, membuat simulasi dan memetakan prediksi perubahan penggunaan lahan. Kajian dilakukan pada skala regional dan berlokasi di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Perubahan penggunaan lahan yang dikaji

adalah periode tahun 1996 – 2000, selanjutnya digunakan sebagai basis prediksi perubahan penggunaan lahan tahun 2000 – 2006. Metode yang digunakan adalah integrasi *Markov chain* dan *Cellular Automata* (CA). Hasil penelitian menunjukkan perubahan penggunaan lahan yang terjadi selama periode 1996 – 2000 adalah seluas 1.720,2 ha. Kategori perubahan yang paling luas adalah perubahan dari sawah menjadi lahan terbangun yaitu 1.526,1 ha. Integrasi *Markov chain* dan *Cellular Automata* dapat digunakan untuk menyusun prediksi secara keruangan, perubahan penggunaan lahan tahun 2000 – 2006 di daerah penelitian. Prediksi keruangan hasil integrasi *Markov chain* dan *Cellular Automata* bersifat eksplisit sehingga dapat digunakan untuk membuat peta prediksi perubahan penggunaan lahan

Kata kunci: perubahan penggunaan lahan, pemodelan, *Markov chain* dan *Cellular Automata*

## PENDAHULUAN

Pemodelan merupakan salah satu cara untuk mengkaji obyek atau fenomena dunia nyata (*real world*). Model pada hakekatnya adalah penyederhanaan atau bentuk sederhana dari obyek dunia nyata (Thomas dan Hugget, 1980). Kompleksitas fenomena dunia nyata merupakan kendala utama yang dihadapi peneliti untuk mengkajinya secara langsung. Melalui pemodelan, fenomena yang kompleks disederhanakan agar lebih mudah dikaji tanpa kehilangan substansi.

Penggunaan lahan adalah fenomena dinamis yang berubah menurut ruang dan waktu. Perubahan penggunaan lahan merupakan fenomena kompleks. Pemicu terjadinya perubahan sangat beragam demikian pula dampak yang ditimbulkannya. Perubahan penggunaan lahan banyak dikaji karena berkaitan dengan berbagai isu global. Pemanasan, berkurangnya biodiversitas dan dampak terhadap kehidupan manusia merupakan isu global yang memiliki keterkaitan dengan perubahan penggunaan lahan. (Lambin dan Geist, 2003).

Kajian perubahan penggunaan lahan secara keruangan dapat dilakukan dengan beragam cara dan dengan fokus yang berbeda. Cara mengkaji perubahan penggunaan lahan antara lain menghitung luas perubahan, menghitung tingkat perubahan, menganalisis pola perubahan dan pemodelan. Fokus kajian perubahan penggunaan lahan antara lain identifikasi faktor pemicu, analisis dampak, dan prediksi perubahan penggunaan lahan. Pemodelan dapat digunakan untuk mengetahui luas perubahan, menganalisis pola perubahan termasuk untuk memprediksikan perubahan penggunaan lahan di masa datang.

*Cellular automata* (CA) merupakan model yang bersifat dinamis yang mengintegrasikan dimensi ruang dan waktu. Konsep *cellular automata* telah dikembangkan sejak tahun 1940-an dalam bidang komputer oleh Von Neumann dan Ulam. Keunggulan dari model *cellular automata* adalah dapat

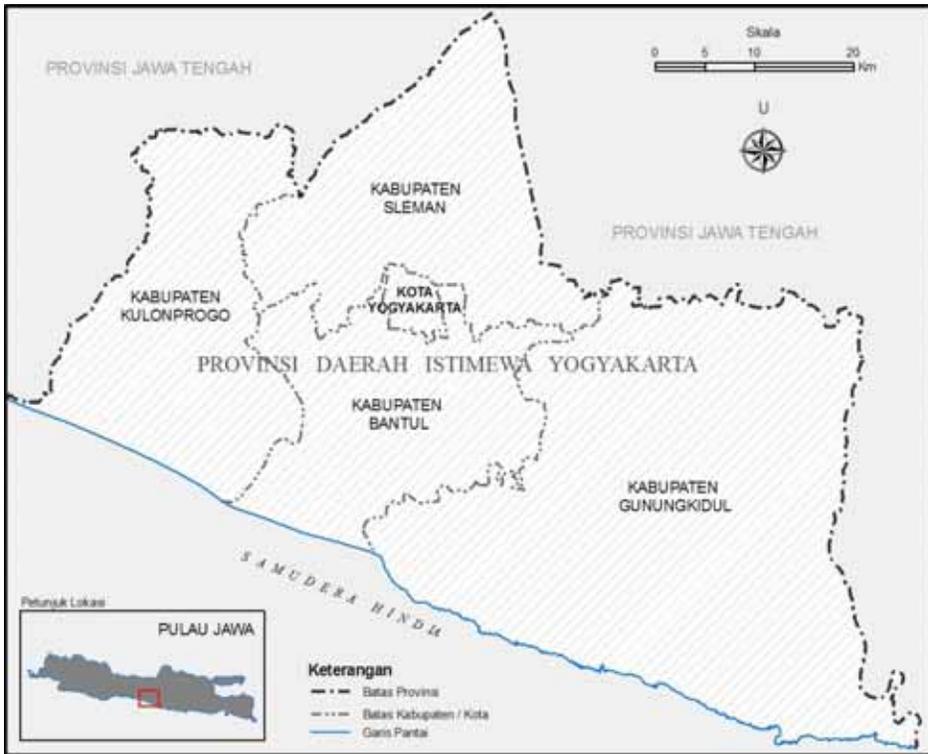
digunakan untuk mengkaji suatu pola sederhana hingga pola yang kompleks dengan prinsip yang sederhana (Singh, 2003; Torenz, 2004). Model CA banyak diadopsi dan diaplikasikan dalam bidang ilmu kebumihutan, salah satunya adalah untuk kajian perubahan penggunaan lahan (Agarwal et al, 2000; Anwar, 2002; Almeida et al, 2005).

Penggunaan model CA untuk kajian perubahan penggunaan lahan dapat dibedakan menjadi tiga berdasarkan aspek determinisme (*determinism*) dan stokastisitas (*stochasticity*) dalam pemodelan. Kategori pertama adalah model CA deterministik. Model ini dicirikan dengan penggunaan metode deterministik dalam penentuan variabel dalam pemodelan. Kategori kedua adalah kombinasi antara metode deterministik dan stokastik. Estimasi luas perubahan dan algoritma transisi ditentukan secara deterministik, tetapi perhitungan probabilitas perubahan dilakukan dengan metode stokastik. Kategori ketiga adalah model CA stokastik atau CA probabilistik. Estimasi luas perubahan dan algoritma transisi ditentukan menggunakan metode stokastik. (Almeida et al, 2005)

*Markov chain*, adalah konsep yang dikenalkan oleh ahli matematika Rusia Andri A Markov. *Chain*, dalam konsep Markov, pada hakekatnya merupakan model matematis yang didisain untuk menjelaskan suatu proses yang berlangsung secara bertahap (*move in sequence*). Menurut teori Markov, probabilitas terjadinya suatu peristiwa ditentukan oleh peristiwa yang secara langsung mendahuluinya dan dapat digunakan untuk memprediksikan peristiwa berikutnya. Probabilitas tersebut disebut dengan istilah probabilitas transisi dan bersifat tetap (*stationary process*). Kelebihan utama dari model ini adalah algoritmanya sederhana sehingga mudah diaplikasikan.

Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan provinsi yang dipandang memiliki faktor-faktor yang potensial mendorong terjadinya dinamika perubahan penggunaan lahan. Predikat sebagai Kota Pelajar yang dimiliki oleh Kota Yogyakarta merupakan salah satu faktor yang secara langsung maupun tidak, memiliki keterkaitan dengan dinamika perubahan penggunaan lahan di provinsi ini. Lahan pertanian khususnya sawah adalah bentuk penggunaan lahan yang mengalami perubahan cukup signifikan. Selama kurun waktu 5 (lima) tahun, dari tahun 1997 hingga tahun 2001, lahan sawah di DIY berubah fungsi menjadi lahan non sawah mencakup areal seluas 1.686 ha (BPS Provinsi DIY, 2001).

Penelitian berlokasi di Provinsi DIY. Secara administratif, daerah penelitian terbagi menjadi empat kabupaten dan satu kota. Lokasi daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Tujuan penelitian ini adalah : 1) Mengkaji perubahan penggunaan lahan pada skala regional di Provinsi DIY periode tahun 1994 sampai tahun 2000; 2) Membuat simulasi perubahan penggunaan lahan melalui integrasi *Markov Chain* dan *Celular Autómata*; 3) Membuat peta prediksi perubahan penggunaan lahan tahun 2000 - 2006 menggunakan integrasi *Markov Chain* dan *Celular Autómata*.



Gambar 1. Wilayah Penelitian

## METODE PENELITIAN

Integrasi antara penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografi (SIG) digunakan untuk perolehan dan analisis perubahan penggunaan lahan. Integrasi *Markov chain* dan *Cellular Automata* (CA) digunakan untuk simulasi dan prediksi perubahan penggunaan lahan. Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan alat dan bahan tertentu. Bahan yang digunakan antara lain citra Landsat TM tahun perekaman 1994 dan 2000 dan peta Rupabumi Indonesia skala 1: 250.000. Alat utama yang digunakan adalah komputer dengan perangkat lunak ArcGIS versi 9.2 dan Idrisi versi 14. Pelaksanaan penelitian secara garis besar terdiri dari tiga tahap yaitu : (1) analisis data penggunaan lahan multitemporal (2) analisis dan penyusunan matriks probabilitas transisi, dan (3) simulasi dan prediksi perubahan penggunaan lahan. Secara diagramatis, prosedur pelaksanaan penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.

### Analisis Data Penggunaan Lahan Multi Temporal

Penggunaan lahan multitemporal (*time series*) merupakan data utama dalam penelitian ini. Data spasial (peta) penggunaan lahan multi temporal daerah penelitian diperoleh dari hasil interpretasi citra Landsat tahun 1994

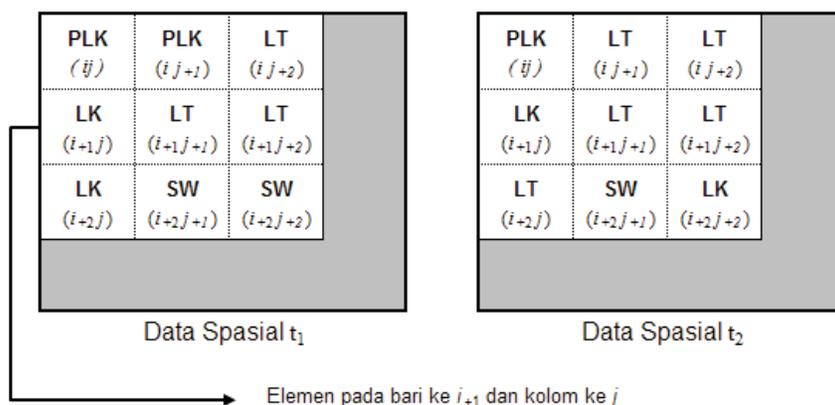
dan 2000. Interpretasi dilakukan secara visual dikombinasikan dengan teknik digitasi *on screen*. Peta rupabumi digunakan sebagai data bantu dalam interpretasi penggunaan lahan. Klasifikasi penggunaan lahan yang digunakan mengacu pada klasifikasi penggunaan lahan untuk peta skala 1: 250.000 dengan beberapa perubahan.

Data penggunaan lahan multi temporal, hasil interpretasi citra, selanjutnya dianalisis untuk memetakan perubahan penggunaan lahan. Sesuai dengan data yang digunakan, perubahan penggunaan lahan yang dipetakan adalah periode tahun 1994–2000. Analisis dilakukan dengan menggunakan teknik tumpang susun (*overlay*) peta. Overlay dilakukan menggunakan perangkat lunak ArcGIS versi 9.2. Hasil utama dari analisis ini adalah peta perubahan penggunaan lahan tahun 1994 – 2000 dan luas perubahan pada setiap kategori penggunaan lahan.

### Analisis dan Penyusunan Matriks Probabilitas Transisi

Probabilitas transisi adalah kemungkinan terjadinya perubahan penggunaan lahan dari suatu kategori menjadi kategori lainnya. Contohnya adalah probabilitas perubahan dari kategori pertanian lahan kering menjadi lahan terbangun. Mengacu pada konsep *Markov Chain*, probabilitas transisi dianalisis menggunakan data penggunaan lahan tahun 1994 – 2000. Metode analisis yang digunakan adalah tabulasi silang (*cross tabulation*).

Data spasial dapat direpresentasikan dalam bentuk matriks yang terdiri dari sejumlah baris ( $i$ ) dan kolom ( $j$ ). Representasi data spasial dalam bentuk matriks diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Representasi Data Spasial Time Series ( $t_1$  dan  $t_2$ ) dalam Bentuk Matriks

Setiap elemen pada matriks memiliki nilai tertentu. Nilai elemen matriks data spasial penggunaan lahan adalah kategori penggunaan lahan. Contoh yang ditunjukkan pada Gambar 2, nilai elemen matriks adalah PLK (pertanian lahan kering), LT (lahan terbangun) dan SW (sawah).

Berdasarkan dua matriks data spasial, probabilitas transisi dihitung untuk setiap elemen matriks. Secara matematis, perhitungan probabilitas transisi untuk setiap elemen dapat dituliskan dalam bentuk formula berikut:

$$P_{ij} : \frac{x_{ij}}{\sum_{j=0}^n x_{ij}} \quad (2.1)$$

$P_{ij}$  adalah probabilitas transisi untuk elemen pada baris  $i$  dan kolom  $j$ .  $x_{ij}$  adalah kategori penggunaan lahan pada baris  $i$  dan kolom  $j$ . Hasil perhitungan probabilitas transisi untuk setiap elemen disimpan dalam bentuk matriks yang disebut matriks probabilitas transisi (MPT). Dimensi dari MPT adalah  $n \times n$ , dimana nilai  $n$  sesuai dengan jumlah kategori penggunaan lahan.

### Simulasi dan Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan

Simulasi perubahan penggunaan dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah simulasi perubahan penggunaan lahan tahun 1994 – 2000. Tahap kedua adalah simulasi atau prediksi perubahan penggunaan lahan tahun 2000 – 2006. Hasil simulasi tahap pertama digunakan untuk uji ketelitian model, sedangkan simulasi kedua digunakan untuk prediksi perubahan penggunaan lahan. Simulasi perubahan penggunaan lahan dilakukan melalui integrasi *Markov's chain* dan *Cellular Automata*.

Simulasi perubahan penggunaan dalam penelitian ini merupakan integrasi antara probabilitas transisi berdasarkan *Markov's chain* dan model *CA*. Model *Cellular automata* terdiri dari empat komponen yang saling berinteraksi dalam dimensi waktu, dan dapat dituliskan dengan notasi:

( U,S,N,T )

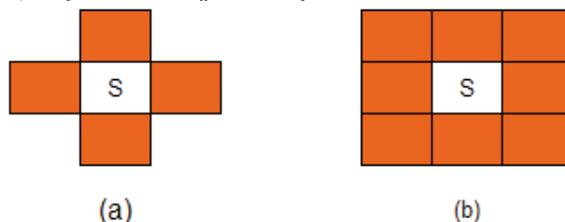
dimana,

- U** (*universe*) : dimensi ruang dari sel (*cell space*)
- S** (*states*) : keadaan-keadaan (nilai) yang mungkin dicapai oleh suatu sel
- N** (*neighborhood*) : jumlah sel tetangga yang dipertimbangkan dalam penentuan nilai dari suatu sel
- T** (*transition*) : Seperangkat aturan (prinsip) yang digunakan dalam penentuan nilai dari suatu sel

Perubahan sel (**S**) dari keadaan awal (**S<sub>t</sub>**) pada waktu  $t$  menjadi (**S<sub>t+1</sub>**) pada waktu  $t+1$  merupakan fungsi dari kondisi sekitarnya (**N**) dan prinsip transisi tertentu (**T**). Secara matematis fungsi perubahan tersebut dapat dituliskan dengan notasi:

$$S_{t+1} = f(S_t, N, T)$$

*Neighborhood* merupakan komponen yang menjadi salah satu ciri dari *cellular automata*. Nilai suatu sel akan berubah pada periode waktu tertentu sebagai pengaruh dari sejumlah sel yang menjadi tetangganya (*neighborhood cells*). Jumlah sel tetangga yang digunakan dalam *cellular automata* umumnya berjumlah empat (disebut Von Neumann *neighborhood*) atau delapan (disebut Moore *neighborhood*) seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

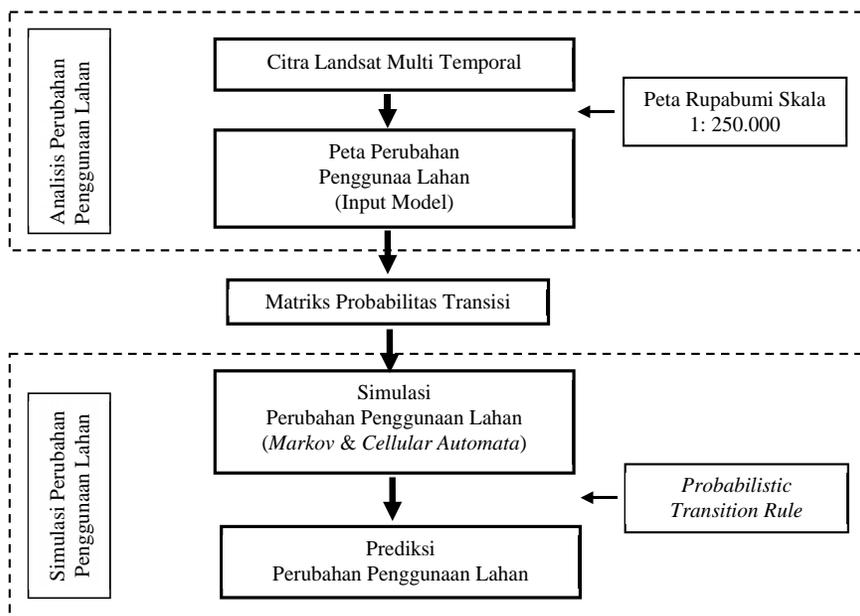


Gambar 3. Konfigurasi Neighborhood pada Cellular Automata  
 (a) Von Neumann *Neighborhood* (b) Moore *Neighborhood*.

Model *probabilistic cellular automata* mengadopsi prinsip probabilitas transisi Markov dengan mempertimbangkan aspek *neighborhood*. Probabilitas berubahnya nilai sel  $C$  dari keadaan  $S_i$  pada waktu  $t$  menjadi  $S_j$  waktu  $t+1$  berdasarkan *model cellular automata* menjadi

$$\text{Prob}_C(S_i \rightarrow S_j) = P_{ij}(N(C))$$

Dimana  $N(C)$  menunjukkan jumlah sel tetangga dari sel  $C$ .



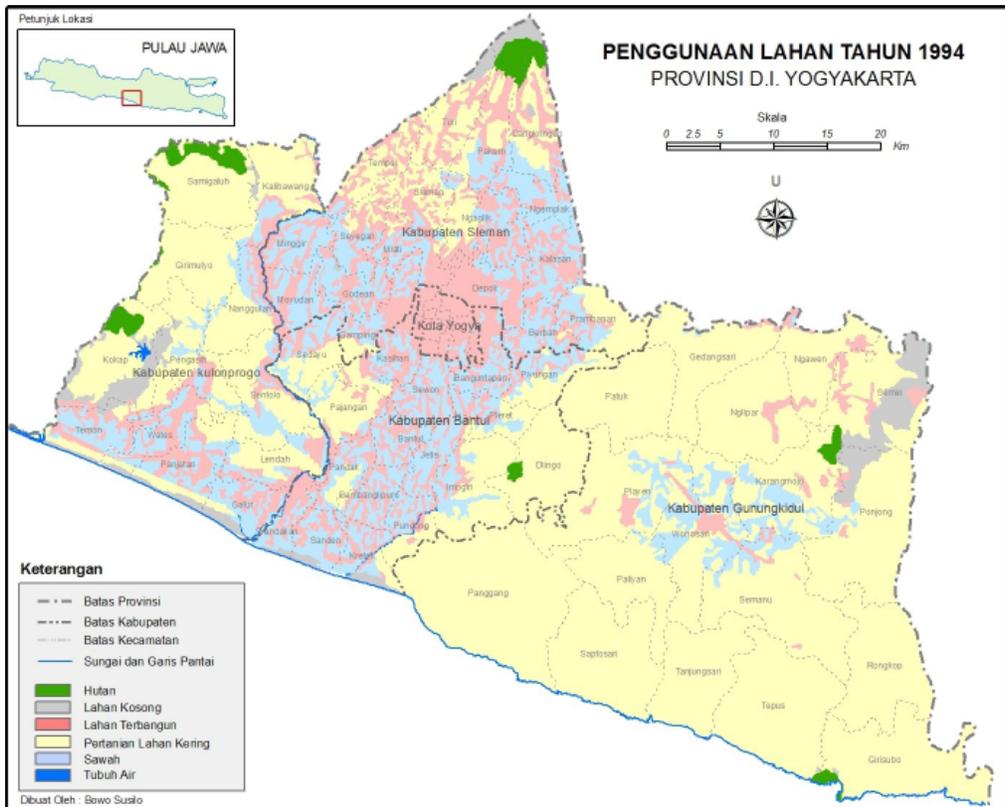
Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

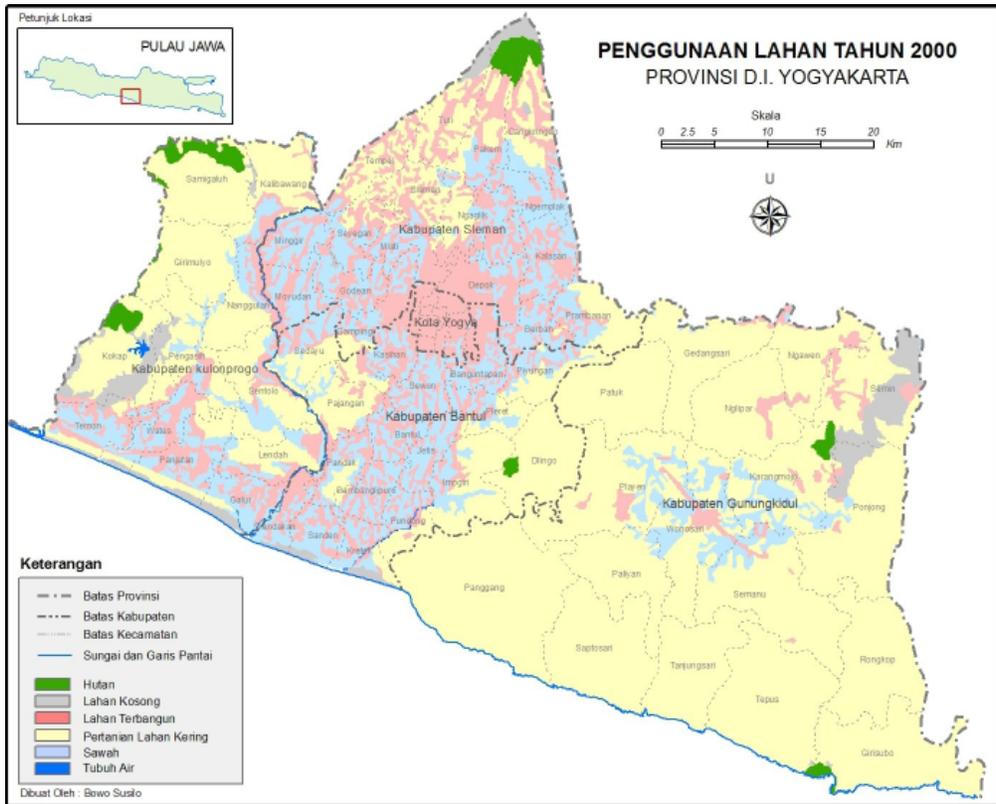
## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Penggunaan Lahan Tahun 1994 dan Tahun 2000

Berdasarkan hasil interpretasi citra satelit Landsat tahun perekaman 1994 dan 2000 diperoleh data penggunaan lahan tahun 1994 dan 2000. Klasifikasi penggunaan lahan yang digunakan mengacu pada klasifikasi penggunaan lahan untuk peta skala 1: 250.000 dengan beberapa perubahan. Maksud dari perubahan ini adalah mengurangi kompleksitas pemodelan yang akan dilakukan mengingat skala kajian penelitian ini adalah skala regional. Berdasarkan klasifikasi yang digunakan, penggunaan lahan di daerah penelitian dibedakan menjadi enam kategori yaitu: hutan, lahan kosong, lahan terbangun, pertanian lahan kering, sawah dan tubuh air.

Peta penggunaan lahan daerah penelitian tahun 1994 dan tahun 2000 ditunjukkan pada Gambar 5. Berdasarkan peta tersebut, dihitung luas setiap kategori penggunaan lahan. Distribusi luas setiap kategori penggunaan lahan tahun 1994 dan tahun 2000 di daerah penelitian hasil ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Penggunaan lahan paling dominan adalah pertanian lahan kering. Kategori penggunaan lahan ini menempati proporsi lebih dari 60 %.





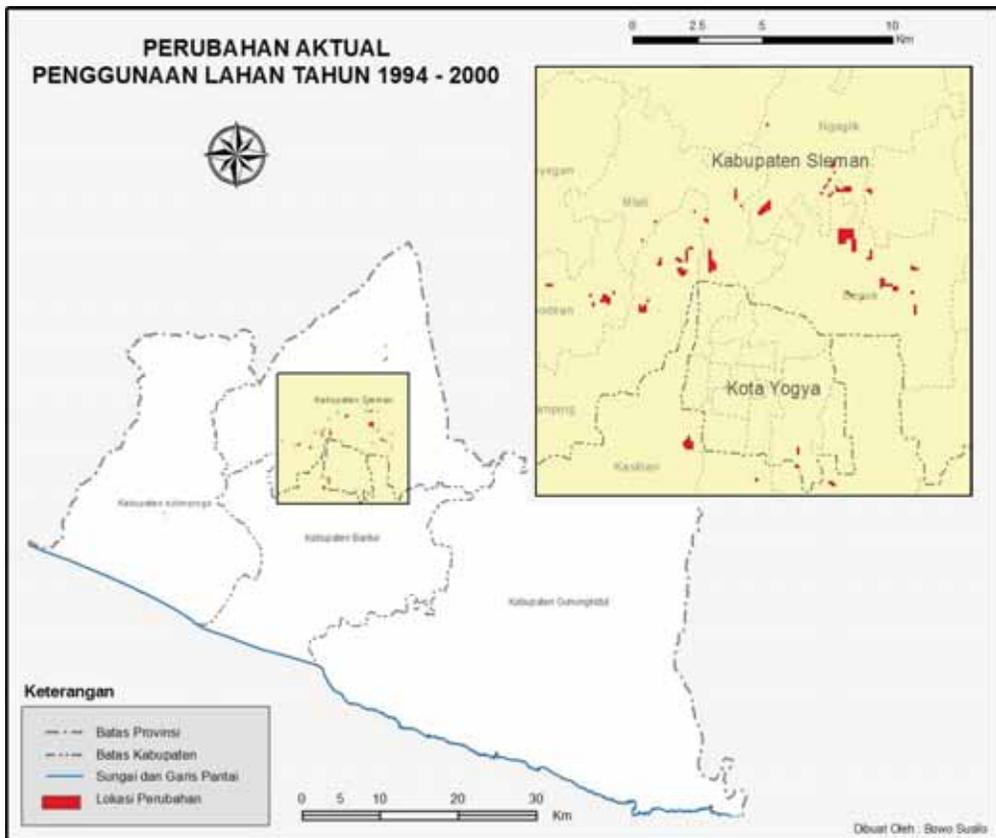
Gambar 5. Peta Penggunaan Lahan Provinsi DIY Tahun 1994 dan Tahun 2000

Tabel 1. Penggunaan Lahan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 1994

Penggunaan Lahan	Jumlah Piksel	Luas dalam satuan		%
		M <sup>2</sup>	Ha	
Hutan	46.743	42.068.700,0	4.206,9	1,3
Lahan Kosong	114.243	102.818.700,0	10.281,9	3,2
Lahan Terbangun	592.184	532.965.600,0	53.296,6	16,8
Pertanian Lahan Kering	2.173.057	1.955.751.300,0	195.575,1	61,6
Sawah	587.648	528.883.200,0	52.888,3	16,7
Tubuh Air	12.332	11.098.800,0	1.109,9	0,3
<b>Total</b>	<b>3.526.207</b>	<b>3.173.586.300,0</b>	<b>317.358,6</b>	<b>100,0</b>

Sumber : Interpretasi Citra Landsat Tahun 1994





Gambar 6. Peta Perubahan Penggunaan Lahan Aktual 1994 - 2000

### Probabilitas Transisi Penggunaan Lahan

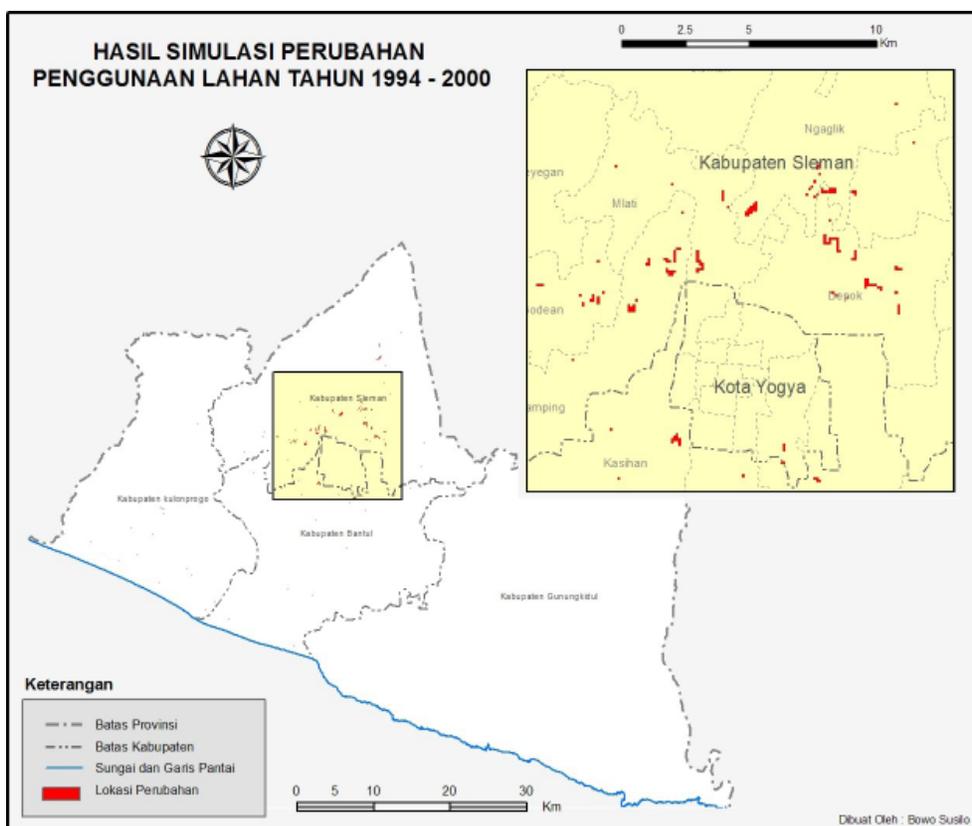
Probabilitas transisi secara sederhana berarti besarnya kemungkinan untuk terjadinya perubahan dari suatu kategori penggunaan lahan ke kategori penggunaan lahan lainnya. Data yang digunakan untuk menghitung probabilitas transisi ini adalah hasil tabulasi silang antara data penggunaan lahan tahun 1994 dan tahun 2000. Probabilitas transisi perubahan lahan diwujudkan dalam bentuk matriks berdimensi 6 x 6.

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix}
 1,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\
 0,000 & 1,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\
 0,000 & 0,000 & 1,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\
 0,000 & 0,000 & 0,001 & 0,999 & 0,000 & 0,000 \\
 0,000 & 0,000 & 0,029 & 0,000 & 0,971 & 0,000 \\
 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,014 & 0,986
 \end{pmatrix}$$

Urutan baris dan kolom pada matriks probabilitas transisi sesuai dengan urutan baris dan kolom pada *cross tab* (Tabel 3). Pada matriks di atas, baris ke 1 dan kolom ke1 atau dinotasikan dengan  $P_{11}$  adalah besarnya probabilitas perubahan dari hutan menjadi hutan. Baris ke 1 kolom ke 2 atau dinotasikan dengan  $P_{12}$  adalah besarnya probabilitas perubahan dari hutan menjadi lahan kosong. Demikian berlaku seterusnya untuk setiap elemen pada matriks tersebut.

### Simulasi Perubahan Penggunaan Lahan Tahun 1994 - 2000

Simulasi perubahan penggunaan lahan tahun 1994 – 2000 adalah simulasi tahap pertama. Tujuan simulasi ini adalah untuk mengetahui kemampuan model dalam mensimulasikan perubahan yang telah terjadi. Input yang digunakan sebagai basis simulasi adalah peta penggunaan lahan tahun 1994 dan matriks probabilitas transisi. Simulasi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Idrisi versi 14 (versi ini disebut sebagai Idrisi Kilimanjaro). Hasil simulasi perubahan penggunaan lahan tahun 1994 – 2000 direpresentasikan dalam bentuk peta. Peta hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 7. Bintik-bintik merah pada merah menunjukkan lokasi perubahan menurut hasil simulasi.



Gambar 7. Peta Perubahan Penggunaan Lahan 1994 – 2000 Hasil Simulasi

### Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Tahun 2000 - 2006

Prediksi perubahan penggunaan lahan tahun 2000 - 2006 pada prinsipnya adalah simulasi perubahan penggunaan lahan tahun 2000 – 2006. Input dalam simulasi adalah peta penggunaan lahan tahun 2000 dan matriks probabilitas transisi perubahan penggunaan lahan tahun 1994 – 2000. Perubahan yang terjadi selama periode enam tahun (periode 1994 – 2000), menurut teori *Markov Chain*, dapat digunakan sebagai dasar untuk memprediksikan perubahan enam tahun ke depan (periode 2000 – 2006). Prediksi perubahan penggunaan lahan berkaitan dengan dua hal yaitu prediksi luas perubahan dan prediksi lokasi perubahan.

Luas penggunaan lahan Provinsi DIY Tahun 2006 diprediksikan menggunakan data penggunaan lahan tahun 2000 dan matriks probabilitas transisi. Tabel 4 menyajikan prediksi distribusi luas penggunaan lahan tahun 2006. Penggunaan lahan tahun 2000, apabila direpresentasikan dalam bentuk matriks akan menjadi:

$$p^{(1)} = [\text{Hutan Lahan Kosong Lahan Terbangun Pertanian Lahan Kering Sawah Tubuh Air}]$$

$$[46743 \quad 114243 \quad 611084 \quad 2171149 \quad 570834 \quad 12154]$$

Angka pada setiap elemen matriks  $p^{(1)}$  di atas menggunakan satuan piksel. Angka ini dapat dikonversi menjadi satuan luas baik  $m^2$  maupun ha. Prediksi distribusi luas penggunaan lahan tahun 2000 diperoleh melalui perkalian matriks  $p^{(1)}$  dengan matriks  $P$  dan menghasilkan matriks  $p^{(2)}$

$$p^{(2)} = [46743 \quad 114243 \quad 629497 \quad 2169242 \quad 554504 \quad 11979]$$

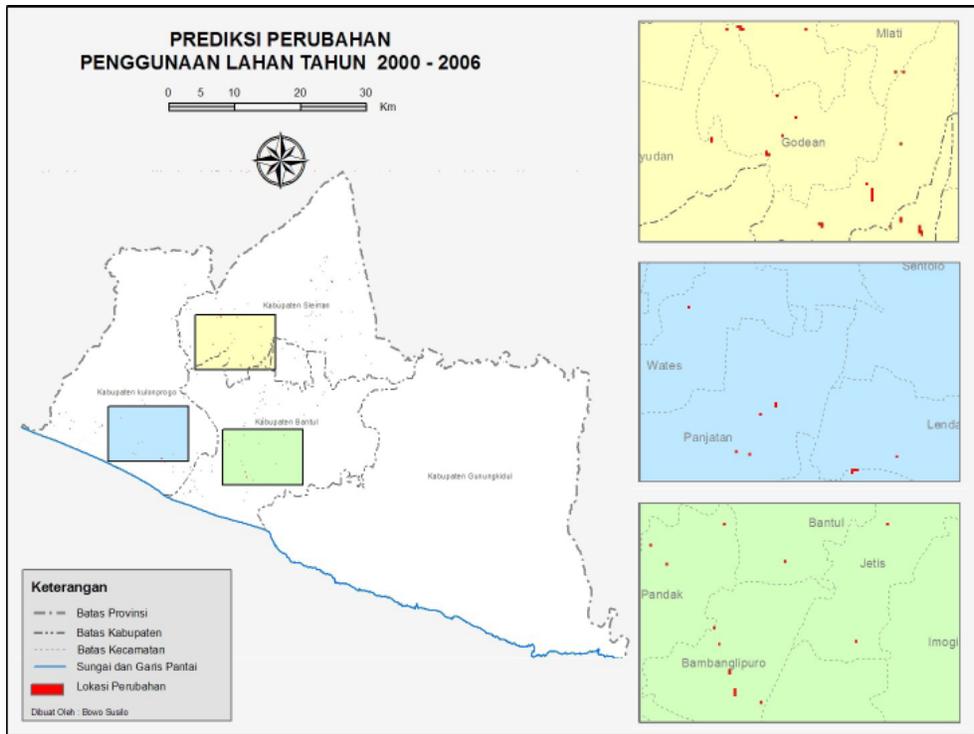
Tabel 4. Prediksi Penggunaan Lahan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2006

Penggunaan Lahan	Jumlah Piksel	Luas dalam satuan		%
		$M^2$	Ha	
Hutan	46.743	42.068.700,0	4.206,9	1,3
Lahan Kosong	114.243	102.818.700,0	10.281,9	3,2
Lahan Terbangun	629.497	566.547.402,7	56.654,7	17,9
Pertanian Lahan Kering	2.169.242	1.952.317.534,1	195.231,8	61,5
Sawah	554.504	499.053.250,9	49.905,3	15,7
Tubuh Air	11.979	10.780.712,3	1.078,1	0,3
Total	3.526.207	3.173.586.300,0	317.358,6	100,0

Sumber : Hasil Pemodelan dengan *Cellular Automata*

Prediksi lokasi perubahan dilakukan melalui simulasi spasial integrasi antara *Markov Chain* dan *Cellular Automata*. Proses simulasi ini sama dengan proses simulasi perubahan tahun 1994 – 2000. Perbedaannya adalah pada input data sebagai basis simulasi. Input dalam simulasi ini, yang berlaku sebagai

basis prediksi, adalah penggunaan lahan tahun 2000. Probabilitas transisi dan prediksi luas perubahan hasil aplikasi *Markov Chain* digunakan sebagai dasar oleh *Cellular Automata* untuk menentukan lokasi yang diprediksikan mengalami perubahan. Lokasi perubahan direpresentasikan dalam bentuk piksel. Output simulasi, secara keseluruhan direpresentasikan dalam bentuk peta prediksi seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Peta Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Tahun 2000 - 2006

Bintik berwarna merah adalah piksel, yang merepresentasikan lokasi lahan, yang diprediksikan mengalami perubahan selama periode tahun 2000 – 2006. Kotak berwarna kuning, biru dan hijau pada Gambar 8. adalah perbesaran pada lokasi tertentu. Lokasi yang diperbesar ditunjukkan dengan kotak warna yang sama pada peta Provinsi DIY. Prediksi lokasi perubahan berupa piksel tunggal dan gugusan piksel (*cluster*). Menurut hasil prediksi, lokasi perubahan penggunaan lahan periode 2000 – 2006 terdapat di Kabupaten Sleman, Kabupaten Bantul, dan Kabupaten Kulonprogo.

Simulasi spasial, hasil integrasi antara *Markov Chain* dan *Cellular Automata* dapat memberikan prediksi keruangan yang bersifat eksplisit. Perubahan penggunaan lahan tidak saja dapat diprediksikan luasannya namun juga lokasinya. *Markov Chain* dan *Cellular Automata* adalah model probabilistik (stokastik). Prediksi luas dan lokasi perubahan, semata mendasarkan pada

prinsip probabilitas yang diperoleh dari analisis data dengan cara yang sederhana. Kelebihan utama dari *Markov Chain* untuk simulasi dan prediksi adalah sederhana dalam perhitungan. Kelemahan utamanya adalah tidak dapat menjelaskan proses terjadinya perubahan dan faktor-faktor yang mempengaruhinya.

## SIMPULAN

Simpulan hasil penelitian sebagai berikut: 1) Perubahan penggunaan lahan yang terjadi antara tahun 1994 dan tahun 2000 di daerah penelitian dapat dibedakan menjadi empat yaitu: pertanian lahan kering menjadi lahan terbangun, sawah menjadi lahan terbangun dan sawah menjadi pertanian lahan kering dan tubuh air menjadi sawah. Kategori perubahan yang paling besar luasannya adalah sawah menjadi lahan terbangun (1.526,1 ha); 2) Integrasi *Markov Chain* dan *Cellular Automata* dapat digunakan untuk menyusun prediksi secara keruangan, perubahan penggunaan lahan tahun 2000 – 2006 di daerah penelitian; 3) Prediksi keruangan hasil integrasi *Markov Chain* dan *Cellular Automata* bersifat eksplisit sehingga dapat digunakan untuk membuat peta prediksi perubahan penggunaan lahan.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Tulisan ini merupakan hasil penelitian yang didanai oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Gadjah Mada (LPPM-UGM) melalui Anggaran DIPA Universitas Gadjah Mada Nomor : 2516/PIII/Set.R/2006 Tanggal 1 Juni 2006. Penulis mengucapkan terimakasih kepada LPPM atas dukungan dana untuk kegiatan penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- , (2001), Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dalam Angka Tahun 2001, Biro Pusat Statistik Provinsi D.I. Yogyakarta
- Almeida, C.M., Monteiro, A.M.V, Mara, G., Filho B.S.S., Cerquiera, G.C., Pennachin, C.L. and Batty, M., (2005), *GIS and Remote Sensing as Tools for The Simulation of Urban Land-use Change*, International Journal of Remote Sensing Vol. 26 No. 4.
- Anwar, Morshed, (2002), Land Use Change Dynamics: A Dynamic Spatial Simulation, *Thesis M.Sc.* AIT Bangkok Thailand.
- Agarwal, C., Green, G.L., Grove, J.M., Evans, T., and Schweik, C., , (2000), *A Review and Assessment of Land Use Change Models dynamics of space, time, and human choice*. 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling, Banff, Alberta Canada

- Benenson, Itzhak dan Torrens, P.M., (2004), *Geosimulation: Automata-based Modeling of Urban Phenomena*, Jhon Willey and Sons Ltd, England.
- Kemp, Karen.K., (1993), Environmental Modeling with GIS: A Strategy for Dealing with Spatial Continuity, *Technical Report 93-3*. National Center for Geographic Information and Analysis
- Kuby et al, (2005), *A Comparison of Geographic Information Systems, Complex Networks, and Other Models for Analyzing Transportation Network Topologies*, NASA, Langley Research Center Hampton, Virginia 23681-2199
- Lambin, E.F., Geist, H.J. and Lepers, E., (2003), *Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Region, The Annual Review of Environment and Resources*, Vol. 28
- Singh, Anujh K., (2003). Modelling Land Use and Land cover Changes Using Cellular Automata in Geo-Spatial Environment, *Thesis M.Sc.* AIT Bangkok Thailand
- Thomas, R. W. and Huggett, R. J. (1980). *Modeling in Geography: A Mathematical Approach*. Totowa, NJ: Barnes and Noble Books, p. 3-10.
- Haggett, Peter. and Chorley, Richard. (1967). Models, Paradigms, and The New Geography. Dalam *Physical and Information Models in Geography*, editor. Haggett, P and Chorley, Richard. London: Methuen, p. 19-41