

SIMULASI SPASIAL BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFI DAN *CELLULAR AUTOMATA* UNTUK PEMODELAN PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN DI DAERAH PINGGIRAN KOTA YOGYAKARTA

Bowo Susilo

bowosusilo@ugm.ac.id ; bowo.susilo@gmail.com

Program Studi Kartografi dan Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

Abstract

Land use change is one of phenomena which have relation to various environmental issues. Global warming, loss of biodiversity and impact to human life are main issues related to land use change. Those issues have been drive international organizations to develop particular program to study land use change. One of the well known programs is Land Use/Cover Change (LUCC). Working group of LUCC suggested three core subject of research related to land use change. Those are situation assessment, modeling and projecting and conceptual scaling.

This research aimed to modeling dynamic of land use change based on spatial simulation. Integration of cellular automata and geographic information system were used to perform spatial simulation. Modeling of land use dynamic was focused on conversion from agriculture land to non agriculture land. Three sub districts which are situated at urban fringe of Yogyakarta had been selected as research area. Those three sub districts were Depok, Mlati and Gamping.

Time series of land use maps comprising year 1982, 1992 and 2000 as well as population data were used to generate input of spatial simulation. Several maps which denote quality of land were used to develop transition rule. Results of simulation were spatial prediction of land use change for year 2001 toward 2007. It was then validated using land use 2007 as reference. Validation test show that predicted and actual condition have fair agreement.

Key word : *spatial simulation, geographic information system, cellular automata, modeling, land use change*

1. Pendahuluan

Perubahan penggunaan lahan merupakan salah satu fenomena yang memiliki keterkaitan dengan berbagai isu lingkungan. Pemanasan global, berkurangnya biodiversitas dan dampak terhadap kehidupan manusia merupakan isu penting yang berkaitan dengan perubahan penggunaan lahan. Isu tersebut mendorong sejumlah lembaga internasional membentuk program yang khusus mengkaji tentang perubahan penggunaan lahan. Kelompok kerja dalam LUCC merekomendasikan tiga subyek utama penelitian yang berkaitan dengan perubahan penggunaan lahan yaitu *situation assessment, modeling and projecting* dan *conceptual scaling*

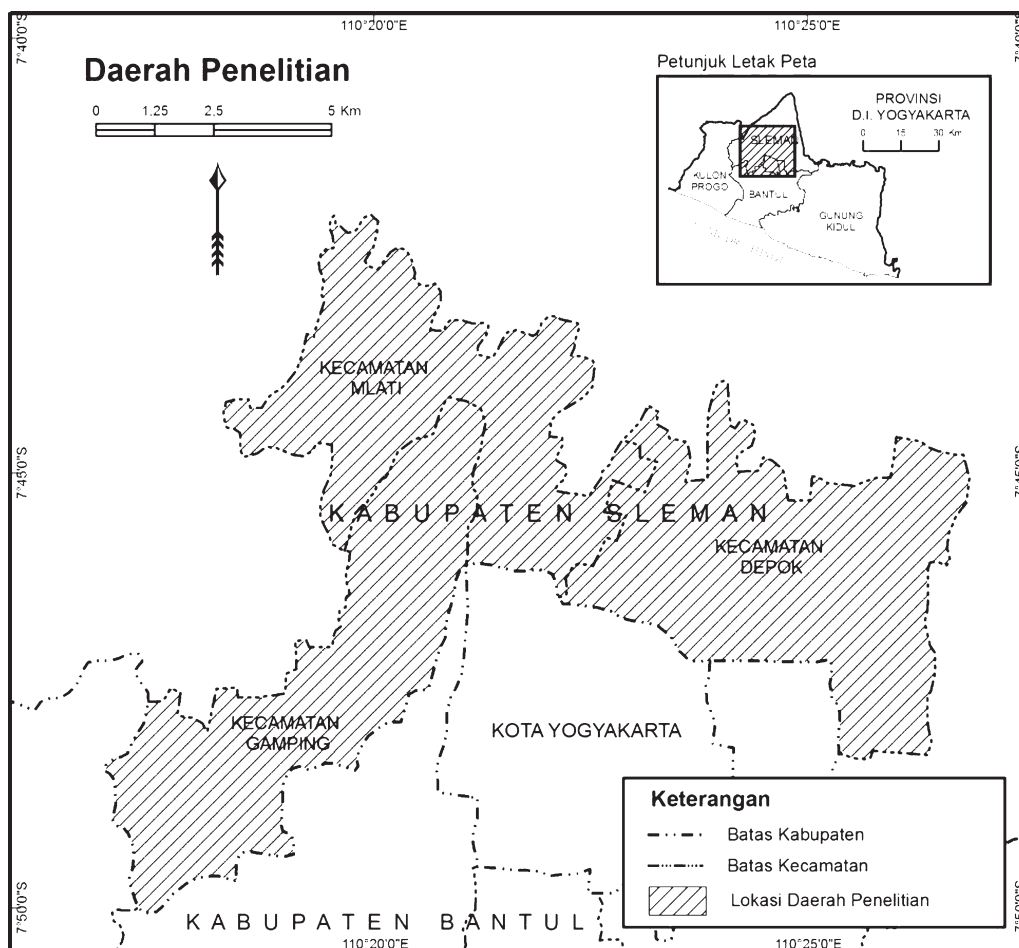
(Anwar, 2002; Singh, 2003).

Perubahan penggunaan lahan adalah fenomena kompleks, yang merefleksikan interaksi antara manusia dengan lingkungannya (Munroe and Muller, 2007). Kajian terhadap fenomena kompleks dilakukan dengan menggunakan berbagai metode dan atau pendekatan. Geokomputasi adalah salah satunya. Geokomputasi dapat diartikan sebagai pendekatan komputasional untuk mencari solusi terhadap permasalahan geografikal (keruangan) yang kompleks (Couclelis, 1998 dalam Torrens dan O'Sullivan, 2000). Geokomputasi menekankan pada aspek komputasi dan karenanya berisikan penggunaan sejumlah apparatus seperti *artificial*

intelligece, *agent-based model*, *genetic algorithm* dan yang paling banyak digunakan adalah *cellular automata* (Torrens dan O'Sullivan, 2000)

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; Benenson and Torrenz, 2004). Model CA banyak diadopsi dan diaplikasikan dalam bidang ilmu kebumih, salah satunya adalah untuk kajian perubahan penggunaan lahan (Agarwal *et al*, 2000; Anwar, 2002; Singh, 2003; Almeida *et al*, 2005; Susilo, 2006; Susilo, 2007; Susilo, 2011).

Daerah pinggiran Kota Yogyakarta (*Yogyakarta urban fringe*) merupakan daerah yang memiliki dinamika perubahan penggunaan lahan yang tinggi. Berbagai faktor berakumulasi menjadi pemicu (*driving force*) terjadinya konversi lahan khususnya dari lahan pertanian dan non pertanian. Harini (2007) mengidentifikasi enam faktor yang menentukan perkembangan daerah pinggiran Kota Yogyakarta dan menjadi pemicu terjadinya konversi lahan. Faktor yang dimaksud adalah: ketersediaan fasilitas umum, aksesibilitas, karakteristik lahan, karakteristik kepemilikan lahan, inisiatif pengembangan perumahan oleh *developer* dan kebijakan pemerintah. Pertumbuhan penduduk yang berakibat pada meningkatnya kepadatan juga berdampak pada meningkatnya kebutuhan lahan khususnya untuk permukiman. Hal ini juga menjadi faktor utama yang



Gambar 1. Lokasi Daerah Penelitian

memicu terjadinya konversi lahan khususnya dari lahan pertanian menjadi lahan non pertanian (Harini, 2007).

Integrasi sistem informasi geografi (SIG) dan *cellular automata* sangat potensial diterapkan untuk keperluan pemodelan spasial. Model tersebut secara *inheren* bersifat dinamis dengan mengintegrasikan dimensi ruang dan waktu. Output model juga bersifat proyektif dengan mengintegrasikan aspek spasial dan non spasial. Hasil pemodelan dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam kegiatan evaluasi maupun perencanaan tata guna lahan. Berbagi skenario dapat disusun guna meminimalisir dampak negatif dari terjadinya perubahan penggunaan lahan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dinamika perubahan penggunaan lahan melalui suatu pemodelan berbasis simulasi spasial. Daerah penelitian yang dipilih adalah tiga kecamatan yang berada di pinggiran Kota Yogyakarta yaitu Kecamatan Depok, Mlati dan Gamping (Gambar 1).

2. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi spasial (*spatial simulation*). Dinamika perubahan penggunaan lahan disimulasikan menggunakan integrasi Sistem Informasi Geografi (SIG) dan *Cellular Automata* (CA). Kajian perubahan penggunaan difokuskan pada perubahan dari lahan pertanian (*agriculture land*) menjadi lahan non pertanian (*non agriculture land*). Simulasi perubahan penggunaan lahan dilakukan dengan berlandaskan pada tiga aspek. Aspek yang dimaksud adalah kebutuhan lahan (*demand of land*), kualitas lahan (*quality of land*) dan pengaruh kondisi di sekitarnya (*neighboring effects*). Kebutuhan lahan untuk suatu penggunaan tertentu digunakan sebagai dasar untuk memprediksikan luas perubahan penggunaan lahan. Kualitas lahan dan kondisi sekitar digunakan sebagai dasar untuk memprediksikan lokasi terjadinya perubahan penggunaan lahan. Kualitas lahan adalah kondisi lahan yang meliputi tanah, air dan karakteristik biologikal yang mencerminkan kapasitasnya untuk mendukung penggunaan lahan tertentu guna memenuhi kebutuhan manusia (Pieri *et al*, 1995).

2.1. Prediksi Luas Perubahan Penggunaan Lahan

Prediksi luas perubahan penggunaan lahan didasarkan pada analisis kebutuhan lahan. Analisis

dilakukan menggunakan hubungan antara jumlah penduduk dengan luas perubahan penggunaan lahan. Perubahan yang dimaksud adalah dari lahan pertanian menjadi lahan non pertanian. Luas lahan pertanian yang berubah menjadi lahan non pertanian dianalisis dari data multi temporal (*time series*) tahun 1981, 1992 dan 2000. Sumber data yang digunakan adalah foto udara dan peta RBI 1 25.000. Jumlah penduduk pada tahun yang sama diperoleh dari data sekunder. Menggunakan analisis regresi linier, hubungan antara jumlah penduduk dengan luas perubahan dapat dituliskan dalam bentuk persamaan regresi :

$$\Delta L_t = \alpha + \beta P_t \quad [1]$$

keterangan:

ΔL_t : luas perubahan lahan pertanian menjadi lahan non pertanian pada tahun ke t

α : konstanta

β : koefisien regresi

P_t : jumlah penduduk tahun ke t

Jumlah penduduk pada masa yang akan datang dapat diprediksikan atau diproyeksikan berdasarkan tingkat pertumbuhan penduduk. Pertumbuhan penduduk dianalisis berdasarkan data penduduk *time series*. Jumlah penduduk pada tahun ke t diproyeksikan menggunakan formula atau persamaan :

$$P_t = P_0 (1+r)^t \quad [2]$$

Keterangan

P_t : Jumlah penduduk tahun ke t

P_0 : Jumlah penduduk tahun ke 0

r : Pertumbuhan penduduk

t : Waktu

Berdasarkan hubungan antara persamaan [1] dan persamaan [2], dapat disusun prediksi tentang luas perubahan penggunaan lahan per tahun.

2.2. Analisis dan Pemetaan Kualitas Lahan

Kualitas lahan (*land quality*) merupakan aspek penting yang dipertimbangkan dalam memilih lahan untuk suatu penggunaan tertentu. Kualitas lahan dapat dinilai berdasarkan sejumlah faktor atau indikator tertentu, tergantung dari jenis penggunaan lahan yang akan diusahakan. Kesuburan tanah,

ketersediaan irigasi merupakan faktor penting yang dipertimbangkan untuk penggunaan lahan pertanian. Lokasi dan aksesibilitas, di sisi lain, merupakan faktor yang lebih penting untuk penggunaan lahan non pertanian.

Indikator kualitas lahan bersifat relatif tergantung dari tujuan dalam menilai kualitas lahan tersebut. Sesuai dengan tujuan penelitian, kualitas lahan dinilai berdasarkan aksesibilitas dari lahan tersebut. Asumsi yang digunakan adalah semakin tinggi aksesibilitas lahan, semakin besar kemungkinan mengalami perubahan penggunaan lahan. Asumsi ini dilandasi sejumlah penelitian tentang perubahan penggunaan, khususnya perubahan dari lahan pertanian menjadi non pertanian. Parameter yang digunakan untuk menilai aksesibilitas adalah lereng, jarak terhadap jalan, kepadatan jaringan jalan dan jarak terhadap sungai. Analisis dan pemetaan keempat parameter tersebut dilakukan dengan menggunakan sistem informasi geografi (SIG).

Analisis dan pemetaan parameter kualitas lahan menghasilkan nilai yang satuannya berbeda-beda. Parameter lereng menggunakan satuan persen (%), parameter jarak menggunakan satuan meter (m) dan parameter kepadatan menggunakan satuan kilometer per kilometer persegi (km/km²). Nilai parameter perlu disetarakan untuk keperluan analisis selanjutnya. Penyetaraan dilakukan dengan melalui proses standarisasi atau normalisasi. Metode yang digunakan untuk standarisasi nilai parameter adalah transformasi linier menggunakan persamaan [3] dan [4].

$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad [3]$$

$$X' = \frac{X_{max} - X}{X_{max} - X_{min}} \quad [4]$$

Keterangan

- X' : nilai parameter hasil standarisasi
- X : nilai parameter
- X_{max} : nilai maksimum parameter
- X_{min} : nilai minimum parameter

Persamaan [3] digunakan untuk standarisasi nilai parameter jarak terhadap sungai dan kepadatan jaringan jalan. Menggunakan persamaan [3] tersebut, nilai parameter akan memiliki rentang 0 sampai dengan 1. Lahan, di daerah penelitian, yang jaraknya paling jauh dari sungai dan atau kepadatan jalannya paling tinggi akan memiliki nilai 1. Sebaliknya lahan yang paling dekat dengan sungai dan atau kepadatan jalannya paling rendah, akan memiliki nilai 0.

Persamaan [4] digunakan untuk standarisasi nilai parameter jarak terhadap jalan dan kemiringan lereng. Menggunakan persamaan [4] tersebut, nilai parameter akan memiliki rentang 0 sampai dengan 1 namun hasilnya berkebalikan dengan penggunaan persamaan [3]. Lahan yang jaraknya paling jauh dari jalan dan atau lerengnya semakin curam akan memiliki nilai 0. Sebaliknya lahan yang paling dekat dengan jalan dan atau lerengnya datar akan memiliki nilai 1.

2.3. Prediksi Lokasi Perubahan Penggunaan Lahan

Lokasi perubahan penggunaan lahan diprediksikan melalui simulasi spasial menggunakan Cellular Automata (CA). Sesuai dengan namanya, CA berisi sejumlah sel (*cell*), yang memiliki nilai tertentu. Setiap sel dapat berubah mengikuti suatu prinsip transisi tertentu (*transition rule*). CA terdiri dari empat komponen yang saling berinteraksi dan dapat dituliskan dengan notasi:

(U,S,N,T)

dimana,

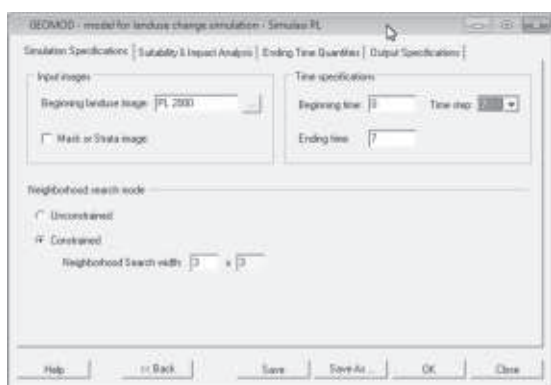
- U (*universe*) : dimensi ruang dari sel (*cell space*)
- S (*states*) : keadaan-keadaan (nilai) yang mungkin dicapai oleh suatu sel
- N (*neighborhood*) : jumlah sel tetangga yang dipertimbangkan dalam penentuan nilai dari suatu sel
- T (*transition*) : Seperangkat aturan (prinsip) yang digunakan dalam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

CA dalam penelitian ini digunakan untuk simulasi perubahan penggunaan lahan dari lahan

pertanian menjadi lahan non pertanian. Unit simulasi yang digunakan adalah sel (piksel) berukuran 10 m x 10 m. Setiap sel mempunyai nilai U (*universe*) dan S (*state*). Nilai U dari suatu sel adalah lokasi dari sel tersebut yang ditunjukkan dengan koordinat (x,y). Nilai S dari suatu sel adalah kategori penggunaan lahan. Sesuai dengan tujuan penelitian, maka hanya ada dua kemungkinan nilai S yaitu lahan pertanian dan lahan non pertanian. Komponen T adalah *rule* dalam simulasi. Contoh dari *rule* adalah “perubahan hanya berlaku satu arah yaitu dari *state* lahan pertanian menjadi *state* lahan non pertanian”. Contoh lain dari *rule*, “jumlah total sel yang dapat berubah selama proses simulasi adalah 100 sel”.

Perubahan state (S) dari keadaan awal (S_t) pada waktu t menjadi (S_{t+1}) pada waktu t+1 merupakan fungsi dari kondisi sekitarnya (N) dan prinsip transisi tertentu (T). Secara matematis fungsi perubahan tersebut dapat dituliskan dengan notasi:

$$S_{t+1} = f(S_t, N, T) \quad [5]$$

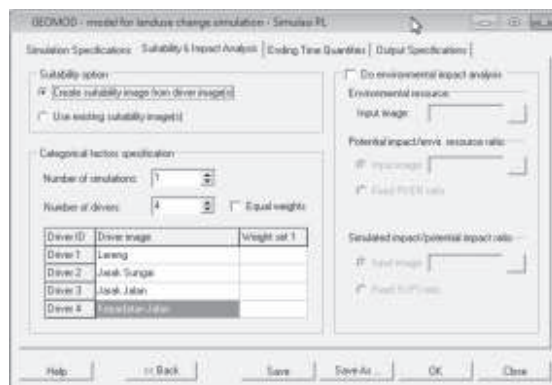


diimplementasikan dengan bantuan perangkat lunak Idrisi. Idrisi merupakan perangkat lunak SIG dan pengolah citra (*image processing*). Perangkat lunak ini dikembangkan oleh Clarks Laboratory dari Clark University USA. Versi yang digunakan dalam penelitian ini adalah versi *trial*. Simulasi spasial dilakukan dengan modul yang bernama GEOMOD. Gambar 2 menunjukkan proses simulasi spasial perubahan penggunaan lahan dengan modul GEOMOD.

2.4. Validasi Hasil Simulasi

Prediksi perubahan penggunaan lahan yang diperoleh dari hasil simulasi perlu di uji ketelitiannya. Uji ketelitian ini sekaligus berfungsi sebagai validasi terhadap hasil simulasi. *Error matrix* atau disebut juga sebagai *confusion matrix* (Gambar 3) digunakan untuk menghitung ketelitian peta hasil simulasi.

Kesesuaian antara hasil simulasi dengan kondisi aktual dinyatakan dengan nilai *observed agreement* (P_o) dan koefisien statistik *kappa* (ê). Nilai P_o disebut



Gambar 2 Proses Simulasi Spasial Perubahan Penggunaan Lahan dengan Perangkat Lunak Idrisi

Fungsi persamaan [5] apabila dinyatakan dengan kalimat akan menjadi “suatu sel dengan nilai S tertentu (misal lahan pertanian) pada waktu t (S_t), akan tetap berupa lahan pertanian atau berubah menjadi lahan non pertanian pada waktu t+1 (S_{t+1}), tergantung dari penggunaan lahan di sekelilingnya pada waktu t (N) dan faktor atau pertimbangan tertentu yang ditetapkan sebagai *transition rule* (T)”. Faktor yang dipertimbangkan dalam hal ini adalah kualitas lahan.

Simulasi spasial perubahan penggunaan lahan dengan *cellular automata*, secara teknis

Reference Data

	1	2	3	4
1	n ₁₁	N ₁₂	n _{1k}	n ₁₊
2	n ₂₁	N ₂₂	n _{2k}	n ₂₊
3	n _{k1}	n _{k2}	n _{kk}	n _{k+}
4	n ₊₁	N ₊₂	n _{+k}	n ₊₊

Gambar 3 Error Matrix (Congalton dan Plourde, 2002)

dengan juga dengan *actual agreement* atau *overall accuracy*. Nilai (P_o) dihitung menggunakan persamaan [6]

$$P_o = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n} \quad [6]$$

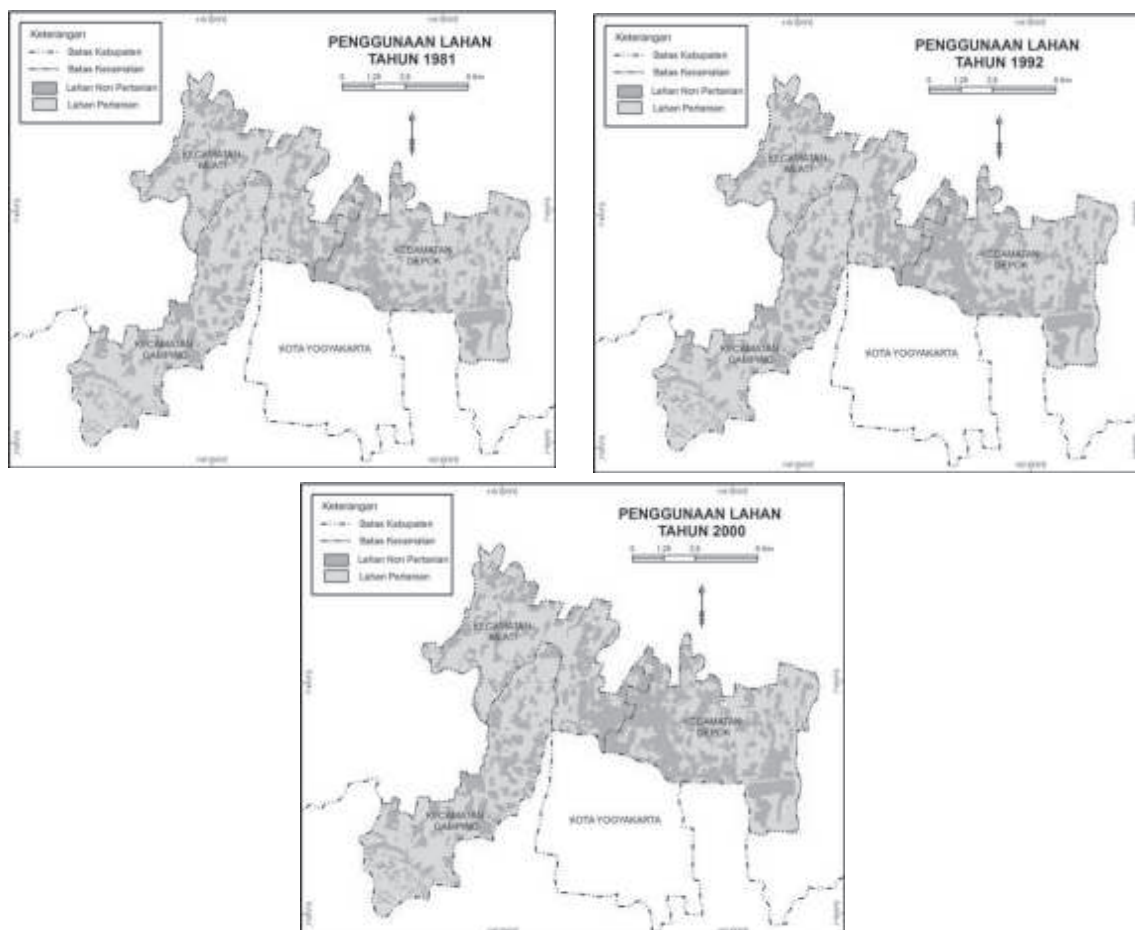
Kofesien statistik kappa ($\hat{\epsilon}$) dihitung berdasarkan nilai P_o (*observed agreement*) dan nilai P_c (*chance agreement*). Nilai P_c dihitung menggunakan persamaan [7]

$$P_c = \frac{\sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}{n^2} \quad [7]$$

Berdasarkan nilai P_o dan P_c maka nilai koefisien kappa ($\hat{\epsilon}$) dihitung dengan persamaan [8] atau menggunakan persamaan [9] (Strube, 1989; Congalton dan Green, 1999)

$$K = (P_o - P_c) / (1 - P_c) \quad [8]$$

$$\kappa = \frac{n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}} \quad [9]$$



Gambar 4. Penggunaan Lahan di Daerah Penelitian Tahun 1981, Tahun 1992 dan Tahun 2000

3. Hasil Penelitian

3.1. Perubahan Penggunaan Lahan Periode 1980 – 1992 dan Periode 1992 – 2000

Penggunaan lahan di daerah penelitian dibedakan menjadi dua kategori yaitu lahan pertanian dan lahan non pertanian. Kategori lahan pertanian meliputi sawah (irigasi dan non irigasi), kebun dan tegal. Kategori lahan non pertanian meliputi permukiman dan bangunan non permukiman. Bangunan non permukiman umumnya berupa fasilitas umum yang digunakan untuk kegiatan perdagangan dan jasa. Distribusi keruangan (spasial) penggunaan lahan di daerah penelitian pada tahun 1981, tahun 1992 dan tahun 2000 ditunjukkan pada Gambar 4.

Analisis terhadap peta penggunaan lahan menghasilkan informasi mengenai luas setiap kategori penggunaan lahan. Kategori penggunaan lahan yang dimaksud adalah lahan pertanian dan lahan non pertanian. Luas lahan pertanian dan lahan

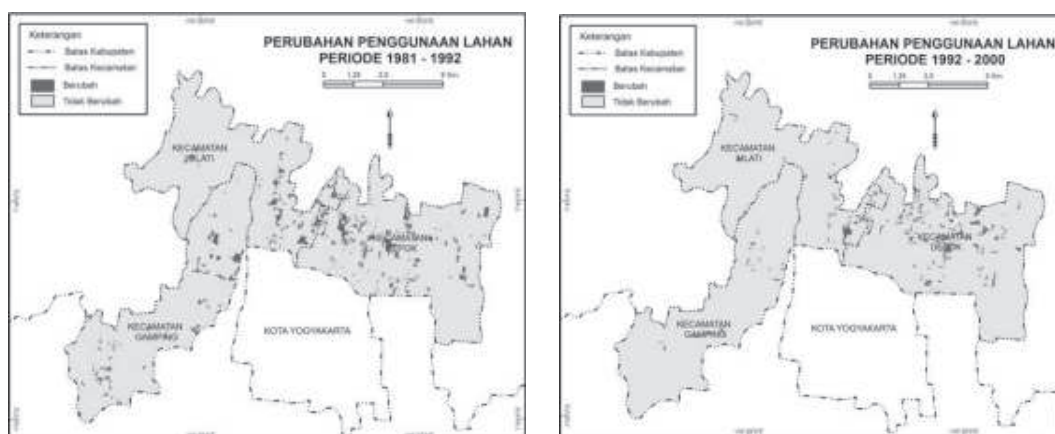
non pertanian pada tahun 1981, tahun 1992 dan tahun 2000 ditunjukkan pada Tabel 1.

Tumpang susun (*overlay*) peta penggunaan lahan tahun 1981, tahun 1992 dan tahun 2000 menghasilkan informasi mengenai luas dan lokasi perubahan penggunaan lahan. Perubahan yang dimaksud adalah dari lahan pertanian menjadi lahan non pertanian. Luas dan lokasi perubahan di analisis berdasarkan dua periode waktu yaitu periode 1981 - 1992 dan periode 1992 - 2000. Hasil analisis menunjukkan, pada periode 1981 -1992 terjadi perubahan dari lahan pertanian menjadi lahan non pertanian seluas 186,3 ha (12,46 %) di Kecamatan Depok, 75,3 5 ha (6,79%) di Kecamatan Mlati dan 86 ha (9%) di Kecamatan Gamping. Luas perubahan pada periode 1992 – 2000 adalah 129,3 ha (7,69%) di Kecamatan Depok, 49,4 ha (4,17%) di Kecamatan Mlati dan 18,7 ha(1,79%) di Kecamatan Gamping. Lokasi perubahan lahan pertanian menjadi lahan non pertanian pada periode 1981 – 1992 dan periode 1992 – 2000 ditunjukkan pada Gambar 5.

Tabel 1. Luas Penggunaan Lahan Tahun 1981, 1992 dan 2000

Kecamatan	Luas Wilayah	Luas Kategori Penggunaan Lahan (ha)					
		Lahan Non Pertanian			Lahan Pertanian		
		Th 1981	Th 1992	Th 2000	Th 1981	Th 1992	Th 2000
Depok	3.414,03	1.495,68	1.682,01	1.811,33	1.918,35	1.732,02	1.602,70
Mlati	2.879,04	1.109,79	1.185,14	1.234,52	1.769,25	1.693,90	1.644,52
Gamping	2.963,00	955,69	1.041,69	1.060,38	2.007,31	1.921,31	1.902,62

Sumber : Hasil Interpretasi Foto Udara 1981, 2000 dan Peta RBI 1 : 25.000



Gambar 5. Lokasi Perubahan Penggunaan Lahan Periode 1981 – 1992 dan Periode 1992 – 2000

3.2. Jumlah dan Pertumbuhan Penduduk

Manusia, dalam proses perubahan penggunaan lahan, merupakan faktor utama yang menentukan terjadinya perubahan penggunaan lahan. Kebutuhan lahan untuk penggunaan tertentu akan mendorong terjadinya konversi lahan. Pola pikir tersebut menjadi landasan asumsi bahwa luas perubahan penggunaan lahan memiliki keterkaitan dengan jumlah penduduk. Semakin banyak penduduk di suatu wilayah, semakin tinggi kemungkinan terjadinya perubahan penggunaan lahan di wilayah tersebut.

Data jumlah penduduk di tiga kecamatan daerah penelitian diperoleh dari data sekunder yaitu buku

Tabel 2. Jumlah Penduduk Tahun 1982 – 2006 per Wilayah Kecamatan

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)		
	Kec. Depok	Kec. Mlati	Kec. Gamping
1982	72.719	48.790	47.997
1984	76.928	52.381	51.262
1985	79.556	53.171	52.133
1986	82.304	54.122	52.960
1987	84.088	54.917	53.566
1988	86.047	55.705	54.208
1989	87.855	56.465	54.836
1990	89.666	57.486	55.784
1991	91.668	58.320	56.849
1992	93.332	59.236	58.073
1993	95.096	59.897	59.097
1994	97.022	60.639	60.286
1995	98.967	61.696	61.193
1996	101.203	62.589	62.232
1997	102.978	63.679	63.036
1998	104.765	64.543	63.977
1999	106.730	65.757	64.828
2000	109.092	67.037	65.789
2001	111.494	68.344	66.870
2002	113.460	69.508	69.425
2003	115.109	70.403	70.435
2004	117.281	71.326	71.531
2005	117.995	71.843	72.310

Sumber : Kabupaten Sleman Dalam Angka Tahun 1983 - 2006

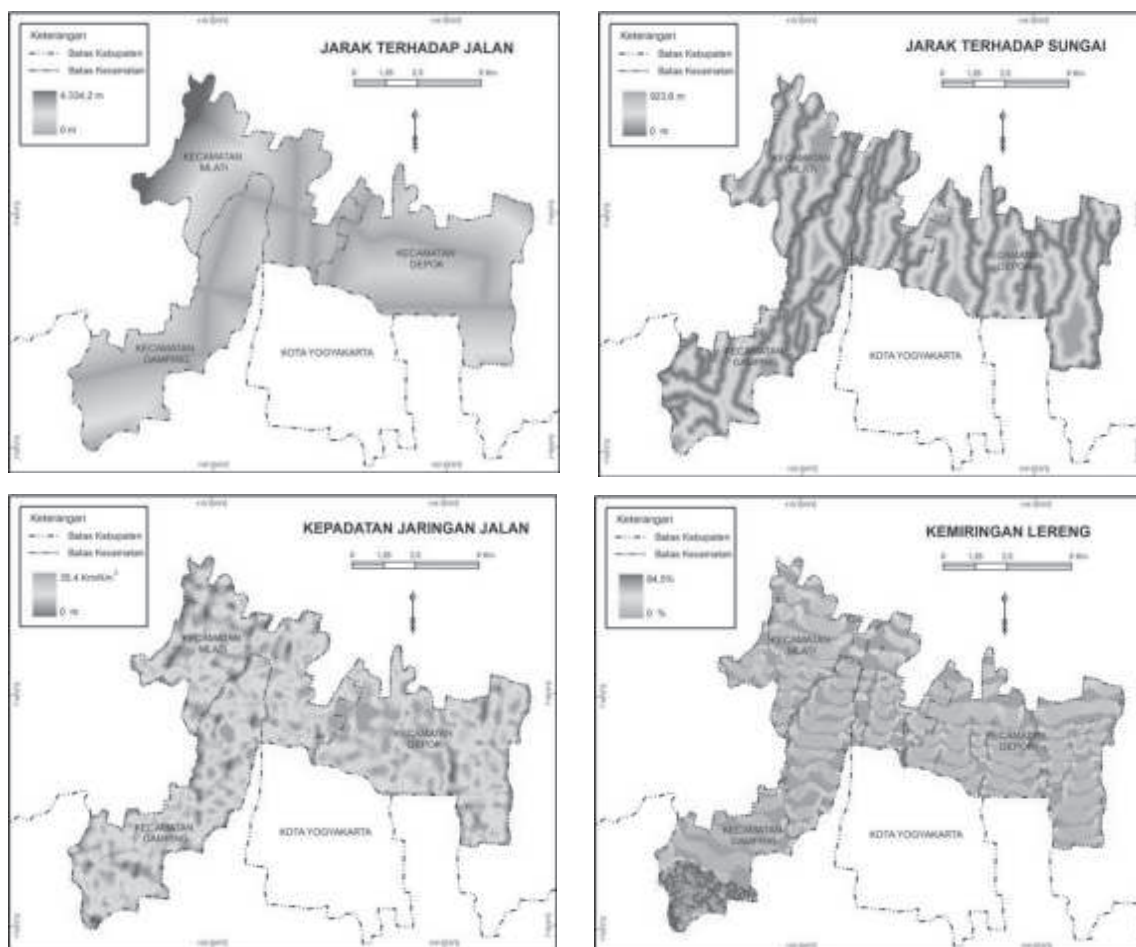
Kecamatan Dalam Angka yang diterbitkan oleh Biro Pusat Statistik (BPS) Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Sesuai dengan ketersediaan data dan kebutuhan analisis, data jumlah penduduk yang dikumpulkan memiliki rentang waktu 23 tahun yaitu dari tahun 1982 sampai dengan tahun 2005 seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Berdasarkan data pada Tabel 2, pertumbuhan penduduk dianalisis menggunakan persamaan [2] dan kemudian dihitung reratanya per tahun. Hasil perhitungan menunjukkan rerata pertumbuhan penduduk di Kecamatan Depok adalah 2,23% pertahun. Rerata pertumbuhan penduduk di Kecamatan Mlati adalah 1,78% pertahun dan rerata pertumbuhan penduduk di Kecamatan Gamping adalah 1,89% pertahun. Nilai rerata pertumbuhan penduduk pertahun digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk tahun 2006 dan tahun 2007. Proyeksi dilakukan karena data penduduk yang tersedia pada saat penelitian dilakukan, hanya sampai pada data penduduk tahun 2005 (Tabel 2). Data penduduk, dalam penelitian ini, diperlukan untuk memprediksikan luas perubahan lahan pertanian menjadi lahan non pertanian. Luas perubahan selanjutnya akan digunakan sebagai input dalam simulasi spasial untuk memprediksikan lokasi perubahan penggunaan lahan. Proyeksi penduduk merupakan pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengatasi kendala ketersediaan data.

3.3. Kualitas Lahan

Kualitas lahan dalam penelitian ini dinilai menggunakan empat parameter yaitu lereng, jarak terhadap jalan, kepadatan jaringan jalan dan jarak terhadap sungai. Setiap parameter kualitas lahan direpresentasikan dalam bentuk peta seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Unit yang digunakan untuk pemetaan parameter kualitas lahan adalah piksel berukuran 10 m x 10 m.

Analisis *univariate* menghasilkan informasi berupa statistik nilai untuk setiap parameter kualitas lahan. Statistik nilai berisi informasi mengenai nilai minimum, nilai maksimum, rentang (*range*) dan rerata (*mean*). Statistik nilai parameter kualitas lahan dianalisis per wilayah kecamatan dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 3 hingga Tabel 4.



Gambar 6 Peta Parameter Kualitas Lahan

Tabel 3. Statistik Nilai Parameter Kemiringan Lereng per Wilayah Kecamatan

Kecamatan	Kemiringan Lereng (%)			
	Min.	Max.	Range	Mean
Mlati	0,0	63,4	63,4	1,4
Depok	0,0	65,0	65,0	1,2
Gamping	0,0	85,0	85,0	1,7

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4. Statistik Nilai Parameter Jarak Terhadap Jalan per Wilayah Kecamatan

Kecamatan	Jarak Terhadap Jalan (m)			
	Min.	Max.	Range	Mean
Mlati	0,0	4.334,2	4.334,2	1.413,6
Depok	0,0	2.769,4	2.769,4	709,4
Gamping	0,0	2.828,5	2.828,5	681,1

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 5. Statistik Nilai Parameter Jarak Terhadap Sungai per Wilayah Kecamatan

Kecamatan	Jarak Terhadap Sungai (m)			
	Min.	Max.	Range	Mean
Mlati	0,0	923,6	923,6	212,9
Depok	0,0	900,5	900,5	235,1
Gamping	0,0	855,9	855,9	177,9

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 6. Statistik Nilai Parameter Kepadatan Jaringan Jalan per Wilayah Kecamatan

Kecamatan	Kepadatan Jalan (Km/Km ²)			
	Min.	Max.	Range	Mean
Mlati	0,0	25,4	25,4	7,5
Depok	0,0	26,3	26,3	9,8
Gamping	0,0	35,4	35,4	7,7

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 7. Prediksi Luas Lahan Non Pertanian per Tahun pada Periode 2001 - 2007

Kecamatan	Prediksi Luas Lahan Non Pertanian (ha) pada Tahun:						
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Depok	1.868,9	1.886,6	1.901,4	1.921,0	1.927,4	1.951,1	1.975,3
Mlati	1.255,2	1.263,4	1.269,7	1.276,1	1.279,7	1.288,7	1.297,8
Gamping	1.075,8	1.091,2	1.097,2	1.103,8	1.108,5	1.116,7	1.125,0

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 8. Prediksi Luas Perubahan Penggunaan Lahan per Tahun pada Periode 2001 - 2007

Kecamatan	Prediksi Luas Perubahan Penggunaan Lahan (ha) pada Periode					
	2001 - 2002	2002 - 2003	2003 - 2004	2004 - 2005	2005 - 2006	2006 - 2007
Depok	17.7	14.8	19.5	6.4	23.7	24.2
Mlati	8.1	6.3	6.5	3.6	9.0	9.1
Gamping	15.3	6.1	6.6	4.7	8.2	8.3

Sumber : Hasil Analisis

3.4. Prediksi Luas Perubahan Penggunaan Lahan (Prediksi a-spasial)

Analisis untuk memprediksi perubahan penggunaan lahan dilakukan untuk interval waktu antara tahun 2001 - 2007. Dalam analisis ini berlaku *rule* bahwa perubahan hanya mungkin terjadi dari kategori lahan pertanian menjadi lahan non pertanian. Luas lahan non pertanian pada tahun 2000 diperoleh dari hasil interpretasi foto udara. Luas lahan non pertanian pada tahun 2007 diprediksikan berdasarkan persamaan regresi yang menghubungkan jumlah penduduk dengan luas lahan non pertanian. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh tiga persamaan regresi yaitu:

$$Y_t = 865,435 + 0.09X_t, \dots\dots (1)$$

$$Y_t = 776,384 + 0.007X_t, \dots\dots (2)$$

$$Y_t = 674,604 + 0.006X_t, \dots\dots (3)$$

Persamaan regresi dari yang pertama hingga yang ketiga, secara berurutan berlaku untuk Kecamatan Depok, Mlati dan Gamping. Pada persamaan regresi tersebut, Y_t adalah prediksi luas lahan non pertanian pada tahun t dan X_t adalah jumlah penduduk pada tahun t . Menggunakan persamaan regresi tersebut, luas lahan non pertanian pada setiap

kecamatan di daerah penelitian dihitung dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 7.

Berdasarkan prediksi luas lahan non pertanian (Tabel 7), maka dapat dihitung prediksi luas perubahan. Penggunaan lahan dalam penelitian ini hanya dibedakan menjadi dua kategori. Konsekuensi logisnya, penambahan luas pada satu kategori berarti mengurangi luas kategori lainnya. Bertambahnya lahan non pertanian berarti mengurangi lahan pertanian. Prediksi luas perubahan penggunaan lahan dari lahan pertanian menjadi lahan pertanian ditunjukkan pada Tabel 8.

3.5. Prediksi Lokasi Perubahan Penggunaan Lahan (Prediksi Spasial)

Prediksi lokasi perubahan penggunaan lahan dilakukan melalui suatu simulasi menggunakan *cellular automata*. Sesuai dengan disain model yang telah dibuat, simulasi perubahan penggunaan lahan berjalan dengan mempertimbangkan empat hal yaitu kondisi penggunaan lahan awal, parameter kualitas lahan, jumlah sel tetangga (*neighborhood*) dan prediksi luas perubahan.

Data penggunaan lahan tahun 2000 digunakan sebagai input dalam simulasi dan berlaku sebagai kondisi awal penggunaan lahan. Lereng, jarak terhadap sungai, jarak terhadap jalan utama dan kepadatan jaringan jalan digunakan untuk mewakili parameter kualitas lahan. Jumlah sel tetangga (*neighborhood cell*) yang digunakan bersifat variabel atau dapat diubah sesuai dengan kebutuhan simulasi. Hasil prediksi luas perubahan penggunaan lahan di tiga wilayah kecamatan daerah penelitian (Tabel 8) digunakan untuk membatasi jumlah sel yang dapat berubah dalam proses simulasi.

Ukuran *neighborhood cell* dalam penelitian ini ditentukan melalui percobaan secara berulang. Pada percobaan atau simulasi pertama digunakan *neighborhood cell* berukuran 3 x 3 dan hasilnya di amati. Simulasi berikutnya dicoba *neighborhood cell* berukuran 3 x 3, 5 x 5, 7 x 7 dan terakhir 15 x 15. Secara visual, simulasi dengan *neighborhood cell* berukuran 15 x 15 memberikan hasil yang cukup realistis dibanding simulasi lainnya. Berdasarkan hasil

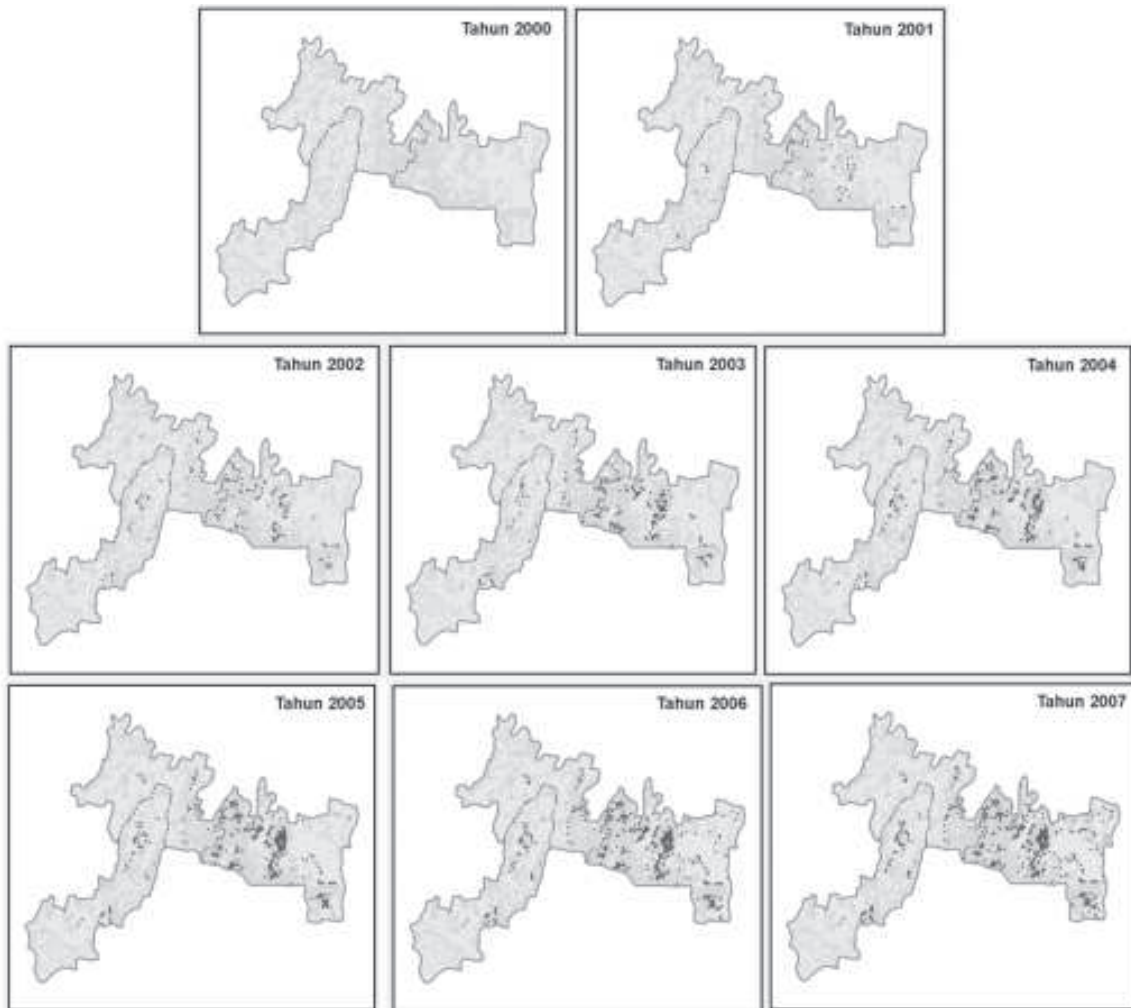
percobaan tersebut, ukuran *neighborhood cell* 15 x 15 digunakan dalam penelitian ini.

Simulasi perubahan penggunaan berlangsung dalam tujuh (7) tahap atau tujuh (7) kali iterasi. Simulasi tahap pertama menggunakan input peta penggunaan lahan tahun 2000. Hasil simulasi tahap pertama adalah prediksi lokasi perubahan dari lahan pertanian menjadi lahan non pertanian pada periode 2000 - 2001. Simulasi tahap pertama sekaligus menghasilkan peta prediksi penggunaan lahan tahun 2001. Hasil simulasi tahap pertama (peta prediksi penggunaan lahan tahun 2001) digunakan sebagai input untuk simulasi tahap kedua. Hasil simulasi tahap kedua adalah prediksi lokasi perubahan dari lahan pertanian menjadi lahan non pertanian pada periode 2001 - 2002. Simulasi tahap pertama sekaligus menghasilkan peta prediksi penggunaan lahan tahun 2002. Proses tersebut berulang sampai tahap ke tujuh selesai. Sampai dengan akhir simulasi dihasilkan tujuh peta prediksi penggunaan lahan yang masing-masing merepresentasikan penggunaan lahan tahun 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006 dan 2007.

Gambar 7 menunjukkan penggunaan lahan tahun 2000 dan hasil simulasi perubahan penggunaan lahan tahun 2001 sampai dengan tahun 2007. Lahan pertanian, pada gambar tersebut, ditunjukkan dengan warna abu-abu sedangkan lahan non pertanian ditunjukkan dengan warna merah muda. Warna merah tua menunjukkan prediksi lokasi terjadinya perubahan penggunaan lahan, dari lahan pertanian menjadi lahan non pertanian. Warna merah tua pada tahun 2001 menunjukkan prediksi lokasi perubahan pada periode 2000 - 2001. Warna merah tua pada tahun 2007 menunjukkan lokasi perubahan pada periode 2000 - 2007.

3.6. Validasi Hasil Pemodelan

Hasil pemodelan divalidasi menggunakan metode uji ketelitian dengan bantuan suatu tabel kontingensi yang sering disebut dengan *error matrix*. Sampel yang digunakan dalam uji ketelitian adalah 200 piksel seperti ditunjukkan pada Tabel 9.



Gambar 7 Penggunaan Lahan Tahun 2000 dan Simulasi Perubahan Penggunaan Lahan Tahun 2001 - 2007

Tabel 9 Matriks uji Ketelitian Hasil Pemodelan

		Kondisi Aktual (Lapangan)		
		LNP	LP	Total
Hasil Pemodelan	LNP	102	48	150
	LP	15	35	50
	Total	117	83	200

Keterangan:

LP : Lahan Pertanian

LNP : Lahan Non Pertanian

Berdasarkan nilai-nilai yang terdapat pada Tabel 9, dihitung nilai *overall accuracy* atau *actual agreement* atau *observed agreement* (P_o) menggunakan persamaan [6]. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_o &= (102 + 35) / 200 \\
 &= 137 / 200 \\
 &= 0,685, \text{ atau dapat dituliskan menjadi } 68,5 \%
 \end{aligned}$$

Menggunakan persamaan [7], dihitung nilai *chance agreement* (P_c). Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_c &= ((117 \times 150) + (83 \times 50)) / (200)^2 \\
 &= (17.550 + 4.150) / 40.000 \\
 &= 21.700 / 40.000 \\
 &= 0,5425, \text{ atau dapat dituliskan menjadi } 54,25 \%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan nilai P_o dan nilai P_c , maka dihitung koefisien kappa (K) dengan menggunakan persamaan [8]. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} K &= (0,685 - 0,5425) / (1 - 0,5425) \\ &= 0,1425 / 0,4575 \\ &= 0,3114, \text{ dibulatkan menjadi } 0,31 \end{aligned}$$

Koefisien kappa juga dapat dihitung menggunakan persamaan [9]. Hasil yang diperoleh adalah sama. Perhitungan dengan persamaan [9] adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} K &= (200 \times 137) - (117 \times 150) - (83 \times 50) / (200)^2 - \\ &\quad (117 \times 150) - (83 \times 50) \\ &= (27.400 - 17.550 - 4.150) / (40.000 - 17.550 \\ &\quad - 4.150) \\ &= 5.700 / 18.300 \\ &= 0,3114, \text{ dibulatkan menjadi } 0,31 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan ketelitian hasil pemodelan (*overall accuracy*) adalah 68,5% sedangkan nilai koefisien statistik Kappa adalah 0,31. Menurut Landis dan Koch (1997, dalam Sim and Wright, 2005), koefisien statistik Kappa senilai 0,31 menunjukkan kesesuaian antara hasil pemodelan dengan kondisi aktual termasuk kategori *fair agreement* (cukup).

Ketelitian pemodelan perubahan penggunaan lahan dalam penelitian ini dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya ketelitian sumberdata yang digunakan, parameter kualitas lahan yang dipertimbangkan, *neighborhood cell*, dan ukuran piksel yang dipilih. Faktor-faktor tersebut memberikan kontribusi yang berbeda-beda terhadap ketelitian pemodelan. Terlepas dari tinggi atau rendahnya ketelitian hasil pemodelan, model pada

hakekatnya merupakan pendekatan untuk memahami kondisi dunia nyata (*real world*). Manusia, dalam kenyataannya, menggunakan banyak pertimbangan sebelum mengambil keputusan terkait dengan penggunaan lahan. Bertitik tolak dari pemikiran tersebut, ketelitian model yang digunakan dalam penelitian ini dapat dikatakan cukup baik. Menggunakan sejumlah parameter yang jumlahnya relatif sedikit dan sederhana, hasil pemodelan dapat memberikan gambaran yang cukup konkrit tentang perubahan penggunaan lahan.

4. Simpulan

Simulasi spasial dengan Sistem Informasi Geografi (SIG) dan *Cellular Automata* dapat digunakan untuk pemodelan perubahan penggunaan lahan. Pemodelan dapat memberikan gambaran tentang proses perubahan penggunaan lahan sekaligus menghasilkan prediksi perubahan penggunaan lahan. Prediksi yang dihasilkan bersifat spasial karena mencakup prediksi tentang luas dan lokasi perubahan penggunaan lahan. Ketelitian prediksi perubahan penggunaan lahan, hasil simulasi spasial dalam penelitian ini, termasuk dalam kategori cukup baik (*fair*). Ketelitian prediksi dipengaruhi oleh beragam faktor diantaranya ketelitian sumber data, parameter yang digunakan dan ukuran piksel (ukuran unit pemetaan) yang digunakan.

Ucapan Terimakasih

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat (LLPM) Universitas Gadjah Mada yang telah menyediakan dana penelitian melalui program Hibah Penelitian Dosen Muda UGM tahun 2007.

Daftar Pustaka

- Agarwal et al. 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*, Canada.
- Almeida, C.M., Monteiro, A.M.V., Mara, G., Filho B.S.S., Cerqueira, 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.
- Benenson, Itzhak dan Torrens, P.M.. 2004. *Geosimulation: Automata-based Modeling of Urban Phenomena*, Jhon Willey and Sons Ltd, England.

- Congalton, R.G dan Green, Kass. 1999. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. Lewis Publishers
- Congalton, R.G dan Plourde, L.C. 2002. "Quality assurance and accuracy assesment of information derived from remotely sensed data", dalam *Manual of Geospatial Science and Technology* (Editor Bossler, J.D), Taylor & France, London New York. Hal :349 – 343
- Harini, Rika. 2007. "Land Conversion and Driving Forces of Urban Fringe Area of Yogyakarta", *Proceeding of Southeast Asean-German Summer School on Urbanization*, Manila 23-31 Maret 2007.
- 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*
- Munroe, D.K., and Muller, D. 2007. "Issues in spatially explicit statistical land-use/cover change (LUCC) models : Examples from western Honduras and the Central Highlands of Vietnam", *Land Use dan Policy Vol. 24 (521-530)*, Elsevier
- Pieri, C., Dumanski, J., Hamblin, A. dan Young, A. 1995. *Land Quality Indicators*, World Bank Publisher, Washington.
- Sim, J and Wright, C.C. 2005. "The Kappa Statistic in Reliability Studies: Use, Interpretation, and Sample Size Requirements", *Physical Therapy Vol 85. No. 3*
- Singh, Anujh K. 2003. *Modelling Land Use and Land cover Changes Using Cellular Automata in Geo-Spatial Environment*, Thesis M.Sc. Asian Institut of Technology, Bangkok Thailand
- Susilo, Bowo. 2006. *Model Dinamis Probabilistik Cellular Automata Berbasis SIG Untuk Kajian Dinamika Perubahan Penggunaan Lahan di Daerah Istimewa Yogyakarta*. Laporan Penelitian Dosen Muda, LPPM UGM.
- Susilo, Bowo. 2007. *Geokomputasi Berbasis SIG dan Cellular Automata untuk kajian Dinamika Penggunaan Lahan di Daerah Pinggiran Kota Yogyakarta*. Laporan Penelitian Dosen Muda, LPPM UGM.
- Susilo, Bowo. 2011. "Pemodelan Spasial Probabilistik Integrasi Markov Chain dan Cellular Automata untuk Kajian Perubahan Penggunaan lahan Skala Regional di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta", *Jurnal Gea Vol 11 No 2*. UPI Bandung
- Strube, M.J. 1989. "A General Program for The Calculation of the Kappa Coefficient", *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 21 (6), 643-644.
- Torrrens, P.M dan O'Sullivan, D. 2000. "Cities, cells, and complexity: developing a research agenda for urban geocomputation". www.geocomputation.org diakses tanggal 15 Juli 2007.