

ANALISIS DAN PREDIKSI PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DI DAS CITARUM HULU

Analysis and prediction of land cover change in upstream Citarum watershed

Sri Malahayati Yusuf^{a,b}, Kukuh Murtilaksono^c, Yayat Hidayat^c, Yuli Suharnoto^d

^aProgram Studi Ilmu Pengelolaan DAS, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680 —malahayati10@gmail.com

^bSoutheast Asian Regional Centre for Tropical Biology (SEAMEO BIOTROP), Jl Raya Tajur Km 6, Bogor 16134

^cDepartemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

^dDepartemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

Abstract. Land cover is one of factors which is important in watershed management. The changes of land cover in a watershed can affect on the hydrology abstraction. Land cover of upstream Citarum watershed is potentially changes. Economy, social, and population are factors that affect the change in land cover. The aim of this research were to analyze spatial change of land cover in upstream Citarum watershed period 2006-2014 with consideration of agricultural land types and predicting future land cover of 2030 as usual and applying a policy to conserve paddy field and forest. Analysis was carried out applying Cellular automata markov chain of land cover spatial model. The result showed that Kappa for image classification was 0.89. Dominant land cover type in upstream Citarum watershed was paddy field of 24.74 – 26.06%. The land cover changes approximately between 1-10% with conversion of paddy field to built up area is the dominant change. Model validation of 2014 predicted land cover was 0.947, while Kappa for optimum iteration of 3 was 0.949. The land cover for period 2006-2030 was change approximately 1-10%. The types of land cover that increase in 2030 were built up area and bareland of 10.06% and 0.1%, respectively, while secondary forest, plantation forest, mixed farming, moor, and paddy field were decreasing approximately 0.4, 0.9, 1.2, 10 and 0.1%. Mixed farming and moor have slightly decrease under protection of paddy field and forest scenario compared to prediction results of 2030 BAU, approximately 1.4 and 1.0% than 1.7 and 7.3%.

Keywords: *cellular automata, future prediction, land cover change, spatial model, upstream Citarum watershed*

(Diterima: 25-12-2017; Disetujui: 22-01-2018)

1. Pendahuluan

Perubahan tutupan lahan di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) mempengaruhi karakteristik hidrologi DAS tersebut (CWRD, 2012; ADB, 2013; Hidayat, 2014). Perubahan dari jenis tutupan lahan yang memiliki evapotranspirasi rendah menjadi jenis tutupan lahan dengan evapotranspirasi tinggi menyebabkan terjadinya penurunan aliran sungai tahunan (Prasena dan Shrestha, 2013). Peningkatan debit tahunan sebesar 6.17% di DAS Citarum Hulu terjadi karena luas pemukiman dan daerah industri meningkat dari 16.4% menjadi 18.1% dan dari 1.2% menjadi 1.8%, secara berurutan terhadap luas DAS selama periode 1994-2005 (Adrionita, 2011).

Perubahan tutupan lahan yang terjadi di DAS Citarum Hulu juga menyebabkan pencemaran air, dan cepatnya laju sedimentasi di Waduk Saguling dibandingkan laju sedimentasi yang direncanakan (Dephut, 2009). Jumlah sedimen yang sampai di badan air Waduk Saguling sebesar 8.46 juta ton/tahun. Oleh karena itu, laju perubahan tutupan lahan di DAS Citarum Hulu perlu dianalisis sehingga dampaknya terhadap keberlanjutan fungsi waduk Saguling, sebagai salah satu waduk penting di Provinsi Jawa Barat, dapat diminimalisir.

Faktor dominan yang mempengaruhi terjadinya perubahan tutupan lahan adalah faktor manusia (Vink, 1975). Sumber lain juga menyatakan bahwa faktor sosial ekonomi merupakan pemicu terjadinya perubahan tutupan lahan (Munibah, 2008, Kamusoko *et al.*, 2009). Hal ini dikarenakan kehidupan manusia tidak mungkin terpisahkan dari aspek sosial ekonomi, yaitu dalam usahanya untuk memenuhi kebutuhan hidup. Pemahaman terhadap proses perubahan tutupan lahan terutama yang terjadi di dalam DAS, akan memberikan masukan terhadap optimalisasi rencana pengelolaan DAS. Oleh karena itu, kajian aspek spasial perubahan tutupan lahan menjadi penting untuk dipelajari.

Kajian spasial perubahan tutupan lahan di DAS Citarum Hulu, terutama terkait jenis tutupan lahan pertanian dan hutan diklasifikasikan secara umum baik berdasarkan batas DAS (Agaton *et al.*, 2016), ataupun batas administratif (Hermawan, 2011). Selain itu, ada pula yang fokus pada satu jenis tutupan lahan saja misalnya sawah dan menggunakan batas administratif di dalam DAS sebagai daerah kajian (Firmansyah, 2016). Kajian yang mencakup berbagai kelas tutupan lahan pertanian hanya didasarkan pada metode deteksi perubahan dengan membandingkan hasil akhir interpretasi citra (Adrionita, 2011). Oleh karena itu,

penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perubahan spasial tutupan lahan di DAS Citarum Hulu periode 2006-2014 dengan mempertimbangkan beberapa jenis tutupan lahan yang merupakan bagian dari jenis pertanian. Selain itu dilakukan juga prediksi pola tutupan lahan tahun 2030 berdasarkan tutupan lahan periode 2006-2014 dan juga prediksi tahun 2030 dengan mempertahankan luas lahan sawah sesuai UU RI No 41 Tahun 2009 tentang perlindungan lahan pertanian pangan berkelanjutan, dan perlindungan hutan sesuai UU RI No 41 Tahun 1999 tentang kehutanan.

Beberapa penelitian terdahulu terkait analisis perubahan tutupan lahan di DAS Citarum Hulu dilakukan dengan metode analisis komparatif peta series tutupan lahan menggunakan ArcGIS (Adrionita, 2011), dan pemodelan ERDAS (Agaton *et al.*, 2016), serta integrasi antara ArcGIS dengan cellular automata model (Hermawan, 2011). Verburg *et al.* (1999) menggunakan model spasial dinamis yang melibatkan faktor sosial ekonomi dan biofisik dalam analisis tutupan lahan. Dalam penelitian ini, analisis dilakukan menggunakan model *cellular automata markov chain* (CA-M) yang merupakan salah satu model spasial perubahan tutupan lahan yang telah dimanfaatkan secara luas (Hedge *et al.*, 2008; Munibah, 2008, Hermawan, 2011; Wang *et al.*, 2012; Xin *et al.*, 2012; Riccioli *et al.*, 2013; Nouri, 2014; Mondal, 2016). Model ini dipilih karena mampu menilai perubahan tutupan lahan baik secara statistik maupun dinamis

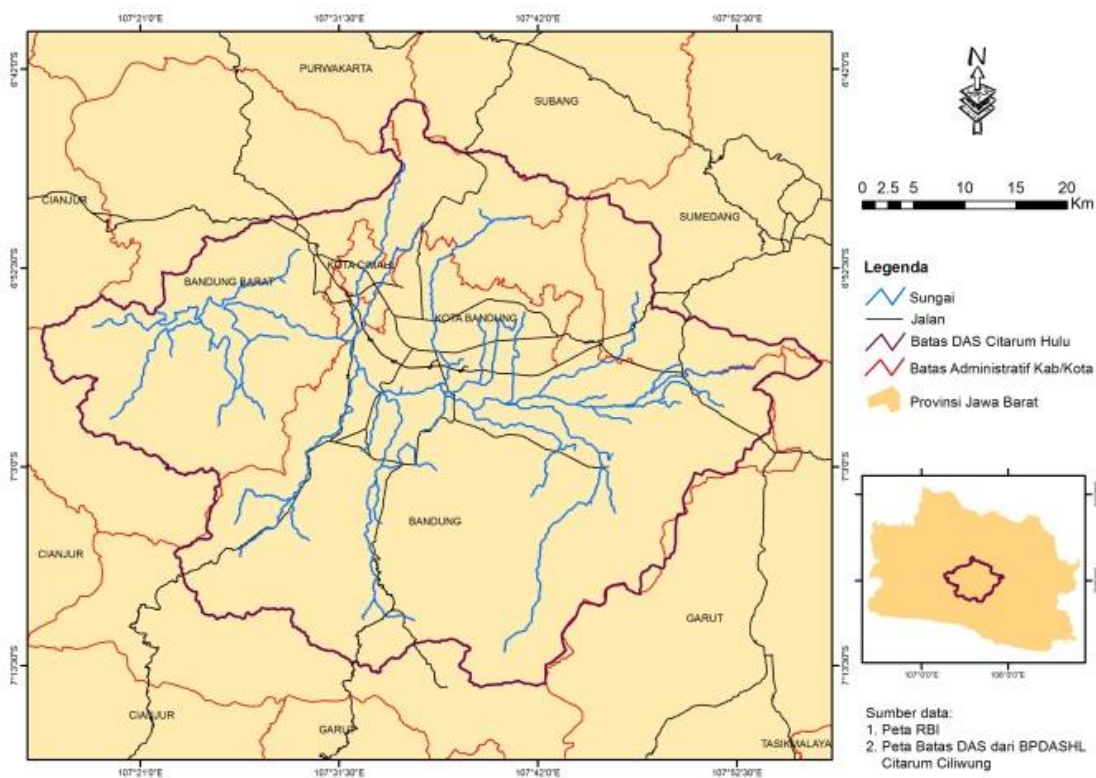
serta mempertimbangkan faktor ruang dan waktu (Hedge *et al.*, 2008; Jie, 2010; Mondal *et al.*, 2016).

Pada model CA-M, deteksi perubahan yang dianalisis didasarkan pada kemungkinan terjadinya perubahan lahan dari satu kondisi ke kondisi lain berdasarkan *transition probabilities*, aturan lokal, filter spasial *cellular automata*, dan peta potensial perubahan (Cole, 2005; Eastman *et al.*, 2005; Hedge *et al.*, 2008; Munibah, 2008; Mas *et al.*, 2013). Peta potensial perubahan tersebut disusun berdasarkan faktor biofisik yang memicu terjadinya perubahan tutupan lahan.

2. Metode

2.1. Daerah studi

Penelitian dilaksanakan sejak bulan Januari 2015 hingga Januari 2016 di DAS Citarum Hulu yang terletak antara 106°51'36'' – 107°51'00'' BT dan 6°24'00'' – 7°19'00'' LS (Gambar 1). Outlet DAS (SPAS Nanjung) terletak di aliran utama sungai Citarum sebelum Waduk Saguling. DAS Citarum Hulu memiliki luas 231,460 ha dan secara administratif mencakup Kota Bandung, Kota Cimahi, Kabupaten Bandung, dan Kabupaten Bandung Barat.



Gambar 1. Lokasi studi

2.2 Bahan dan Alat

Alat-alat yang digunakan yaitu *Global Position System* (GPS), kamera, perangkat lunak (Microsoft Office, ArcGIS, IDRISI), dan perangkat keras komputer, serta

alat tulis. GPS dan kamera digunakan untuk dokumentasi kegiatan survei tutupan lahan, ArcGIS digunakan sebagai alat untuk analisis citra, dan IDRISI untuk analisis model perubahan tutupan lahan dengan model CA-M.

Bahan-bahan yang digunakan adalah citra Landsat 5 tahun 2006, 2009, dan Landsat 8 OLI tahun 2014 (perekaman data tanggal 18 Mei 2006, 17 Oktober 2009, dan 9 Juni 2014 pada *path/row* 121-65 dan 122-65), peta Rupa Bumi Indonesia (RBI), peta batas DAS Citarum, dan Jawa Barat dalam Angka tahun 2016. Jenis dan kegunaan data disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis, sumber, dan kegunaan data

No	Jenis Data	Sumber Data	Kegunaan Data
1	Peta Rupa Bumi Skala 1:25,000	Badan Informasi Geospasial	Untuk menyusun faktor-faktor pendukung/penghambat terjadinya perubahan tutupan lahan
2	Citra Landsat 5 tahun 2006, 2009, Landsat 8 tahun 2014	LAPAN	Untuk analisis peta tutupan lahan, input model M-CA
3	Peta Batas DAS Citarum Hulu	BPDASHL Citarum Ciliwung	Untuk membatasi daerah penelitian
4	Bandung dalam Angka	Badan Pusat Statistik Jawa Barat	Untuk menyusun faktor-faktor pendukung/penghambat terjadinya perubahan tutupan lahan

2.2. Tahapan penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui 3 tahap utama yaitu analisis citra, analisis perubahan tutupan lahan, dan model prediksi perubahan tutupan lahan. Masing-masing tahapan tersebut saling terkait satu sama lain sehingga dihasilkan peta prediksi tutupan lahan tahun 2030.

a. Analisis citra

Analisis citra Landsat untuk DAS Citarum Hulu dilakukan menggunakan metode *visual* dengan perangkat lunak ArcGIS untuk *time series* 2006, 2009, dan 2014 (merupakan citra terbaik dengan tutupan awan dibawah 10%). Citra terlebih dahulu dilakukan koreksi geometrik (*pra-processing*) dan kemudian diinterpretasi dengan menggunakan komposit band 432 (Landsat 5) dan 654 (Landsat 8).

Interpretasi dilakukan mengacu pada kunci-kunci interpretasi yang terdiri dari rona/warna, tekstur, pola, ukuran, bentuk, bayangan, dan lokasi objek dalam perbandingannya dengan objek yang lain (Lillesand dan Kieffer 1997). Hasil survei tutupan lahan digunakan sebagai *training area* untuk menentukan tipe tutupan lahan dan sebagian untuk validasi hasil interpretasi. Jenis tutupan lahan diklasifikasi berdasarkan SNI 7465-2010 tentang Klasifikasi Penutup Lahan pada skala 1 : 50,000. Hasil interpretasi

divalidasi dengan nilai Kappa dan verifikasi terhadap data hasil survei tahap dua. Hasil dari tahap ini adalah peta tutupan lahan tahun 2006, 2009, dan 2014.

b. Analisis perubahan tutupan lahan

Analisis perubahan tutupan lahan DAS Citarum Hulu periode 2006-2014 dilakukan dengan metode tumpang susun peta tutupan lahan yaitu tahun 2006, 2009, dan 2014. Proses tersebut menghasilkan data perubahan tutupan lahan dan juga tren perubahan tutupan lahan di DAS Citarum Hulu.

c. Model prediksi perubahan tutupan lahan

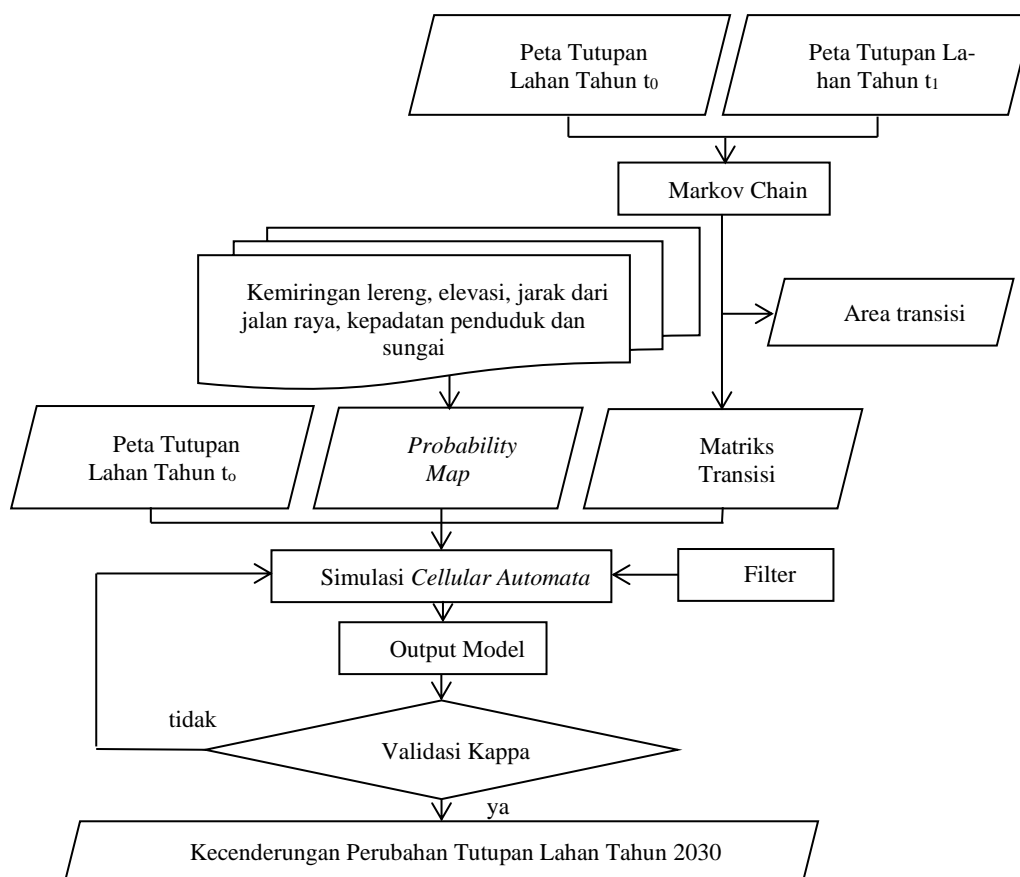
Prediksi perubahan tutupan lahan DAS Citarum Hulu dilakukan menggunakan model CA-M. Input utama model ini adalah peta series tutupan lahan, peta pro-babilitas, dan filter matriks ketetanggaan. Tahapan detail prediksi perubahan tutupan lahan DAS Citarum Hulu disajikan pada Gambar 2.

Periode model untuk Markov chain dikelompokkan menjadi periode pendek (2006-2009, 2009-2014), dan periode panjang (2006-2014). Hal ini dilakukan untuk memperoleh faktor historis pola perubahan tutupan lahan di masa lalu, yaitu perubahan dari satu jenis tutupan menjadi jenis tutupan lahan lain pada rentang waktu tertentu.

Peta probabilitas disusun berdasarkan faktor pemicu dan penghambat terjadinya perubahan tutupan lahan yang meliputi kemiringan lereng, elevasi, jarak dari jalan raya, kepadatan penduduk, dan jarak dari sungai. Faktor-faktor tersebut ditentukan berdasarkan Munibah (2008) dan dimodifikasi sesuai hasil pengamatan di lapangan. Masing-masing faktor diberi bobot 0 (ti-dak berpengaruh terhadap perubahan) ataupun bobot 1 (berpengaruh terhadap perubahan). Kemudian faktor-faktor tersebut disusun menjadi peta raster dengan ukuran grid 10 x 10 m yang berfungsi sebagai variabel dalam menentukan kemungkinan perubahan yang terjadi dari suatu jenis tutupan lahan. Proses prediksi tutupan lahan tahun 2014 di lakukan berdasarkan tiga periode Markov dengan jumlah iterasi 1 dan filter ketetanggaan ukuran 5x5. Hasil model dikalibrasi menggunakan nilai Kappa (Cohen, 1960).

Tahap selanjutnya dalam pemodelan perubahan tutupan lahan adalah validasi model. Proses ini dilakukan untuk mencari nilai iterasi optimal yang akan digunakan untuk memodelkan tutupan lahan tahun 2030. Adapun jumlah iterasi yang dicoba yaitu 1, 3, 5, 7, 9, 11. Hasil yang dianalisis dari proses ini adalah nilai Kappa dan estimasi waktu yang terpakai untuk setiap jumlah iterasi.

Tahap akhir dari model prediksi ini adalah memprediksi tutupan lahan tahun 2030 *as usual* (2030 BAU) dan penerapan kebijakan perlindungan lahan sawah dan hutan (2030²). Peta tutupan lahan tahun 2014, area transisi dari periode Markov yang paling optimal, dan jumlah iterasi yang optimal merupakan input yang digunakan dalam tahapan ini.



Gambar 2 Diagram alir prediksi perubahan tutupan lahan

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Evaluasi Hasil Interpretasi Citra

Nilai akurasi Kappa sebesar 0.89 dan total akurasi sebesar 0.92, masuk dalam kategori baik sehingga data dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut (Cohen 1960). Hasil penelitian Nouri *et al.* (2014), Munibah (2008), Kamusoko *et al.* (2009), dan Wang *et al.* (2012) juga menunjukkan bahwa nilai Kappa berkisar antara 0.86 - 0.99 masuk dalam kategori baik.

3.2 Tutupan lahan DAS Citarum Hulu

Terdapat 8 jenis tutupan lahan di DAS Citarum Hulu berdasarkan hasil interpretasi citra yaitu sawah (SAWA), ladang/tegalan (LDNG), perkebunan (KBUN), hutan sekunder (HTSD), hutan tanaman (HTNM), lahan terbuka/semak (LHTB), lahan terbangun (LHBG), dan tubuh air (TAIR). Luas tutupan lahan tahun 2006, 2009, dan 2014 disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan DAS Citarum Hulu didominasi oleh tutupan lahan sawah pada ketiga titik tahun 2006, 2009, dan 2014 yaitu berkisar antara 24.74 hingga 26.06% dari total luas DAS. Dominasi tutupan lahan sawah didukung oleh kondisi fisik lahan dengan karakteristik lereng yang relatif datar (0-8%) yaitu seluas 50.40% dari luas DAS, curah hujan tahunan

yang tinggi (3,542 mm) dan adanya sarana berupa saluran irigasi.

Tabel 2 Luas Tutupan Lahan Tahun 2006, 2009, 2014

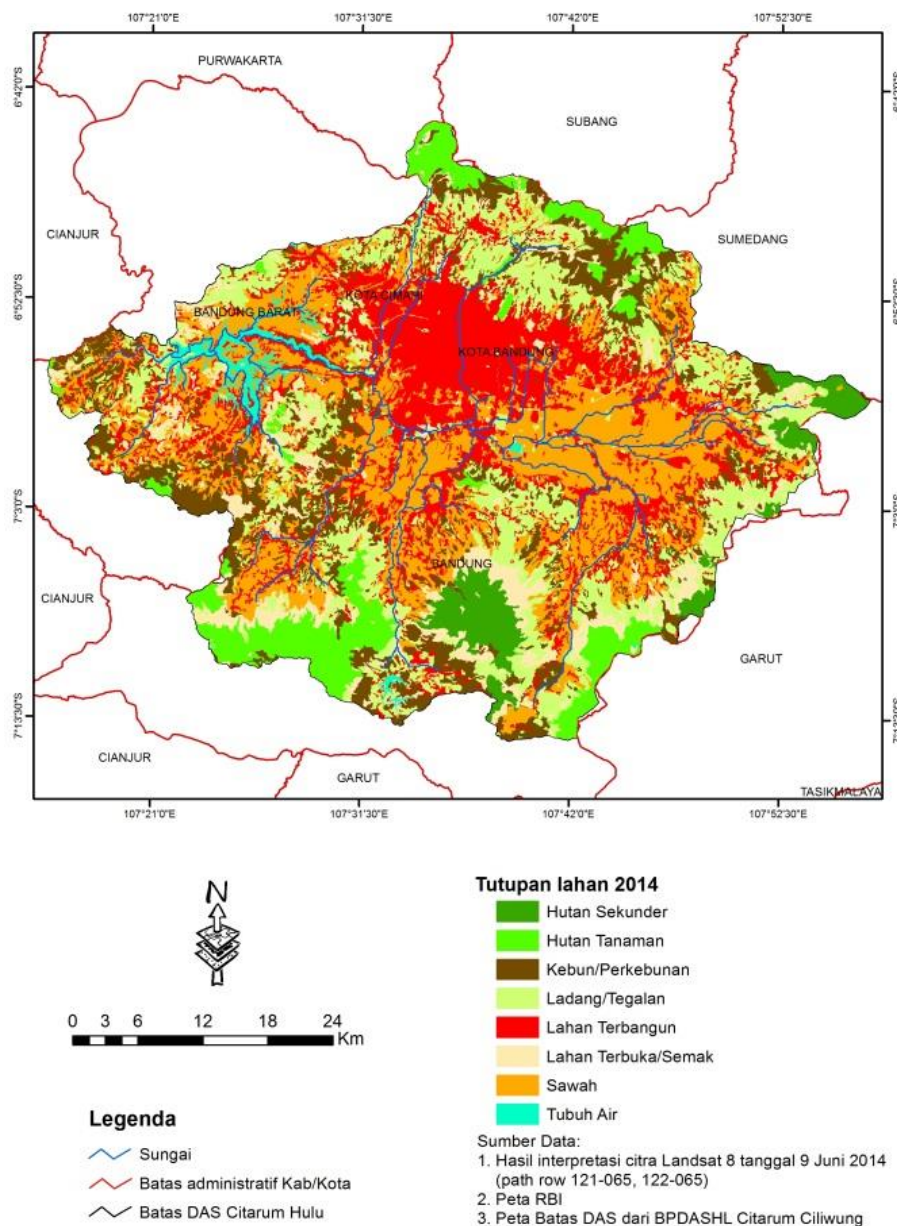
Kode	Jenis Tutupan Lahan	Tahun	Tahun	Tahun
		2006	2009	2014
		ha		
1	HTSD	8,411	8,411	8,367
2	HTNM	17,133	17,133	17,022
3	KBUN	31,750	31,755	31,926
4	LDNG	42,860	42,814	41,394
5	LHBG	48,422	48,534	53,010
6	LHTB	18,359	18,369	18,284
7	SAWA	60,326	60,245	57,258
8	TAIR	4,199	4,199	4,199
Total		231,460	231,460	231,460

Jenis tutupan lahan kedua terluas di DAS Citarum Hulu pada periode 2006-2014 adalah lahan terbangun dengan persentase sebesar 20.92, 20.97, dan 22.90% terhadap luas DAS, masing-masing pada tahun 2006, 2009, dan 2014 secara berurutan. Lahan terbangun terdiri dari pemukiman, perkantoran, kawasan industri, jaringan jalan dan kereta api, serta bandar udara.

Gambar 3 menunjukkan sebagian besar lahan terbangun terpusat di daerah bagian tengah ke arah utara DAS, dan dominan di Kota Bandung dan Kota Cimahi. Pemusatan di kedua kota tersebut dikarenakan tingginya sarana dan prasarana, serta akses yang mudah dan dekat dengan pusat pemerintahan. Selain itu, perkembangan daerah pemukiman ke arah timur DAS, yang masih merupakan bagian endapan danau, terhambat karena daerah tersebut merupakan daerah

rawan gerakan tanah (berdasarkan peta RTRW Provinsi Jawa Barat). Begitu pula dari segi kependudukan, tingkat kepadatan penduduk tertinggi di DAS Citarum Hulu adalah di Kota Bandung dan Cimahi yaitu dengan

nilai kepadatan penduduk sebesar 14,750.5 dan 14,237.4 jiwa/km² pada tahun 2015 (BPS 2016).



Gambar 3 Sebaran tutupan lahan DAS Citarum Hulu Tahunn2014

Ladang/tegalan merupakan jenis tutupan lahan ketiga terluas di DAS Citarum Hulu pada periode 2006-2014 dengan persentase berkisar antara 17.88 hingga 18.52%. Tutupan lahan ladang/tegalan merupakan lahan yang diusahakan untuk jenis pertanian lahan kering terutama jenis sayur-sayuran, cabe, dan singkong. Sayuran dan cabe diusahakan secara intensif oleh para petani, bahkan ada petani yang sudah menerapkan sistem penutup tanah dengan penggunaan plastik (mulsa plastik). Singkong hanya diusahakan pada lahan yang tidak terlalu luas karena kurang ekonomis dibandingkan jenis tanaman lainnya. Jenis

tutupan lahan ini tersebar merata hampir di seluruh bagian DAS yang memiliki kemiringan lereng 8-15 dan 15-25%.

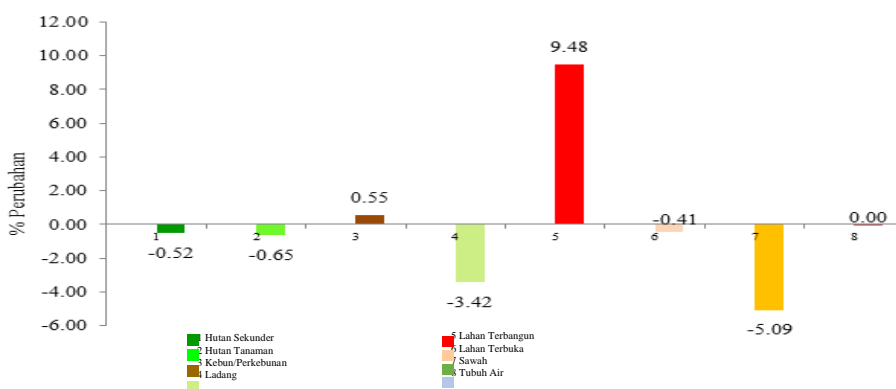
Kebun, lahan terbuka/semak, hutan tanaman, hutan sekunder, dan tubuh air merupakan jenis tutupan lahan pada urutan ke-empat, lima, enam, tujuh, dan delapan, dengan luas secara berurutan sebesar 13.72, 7.93, 7.40, 3.63, dan 1.81% terhadap luas DAS. Hutan tanaman di lokasi penelitian didominasi oleh jenis pohon pinus dan pada lokasi tertentu berbatasan dengan hutan sekunder dan tegalan.

3.3 Kecenderungan perubahan tutupan lahan DAS Citarum Hulu

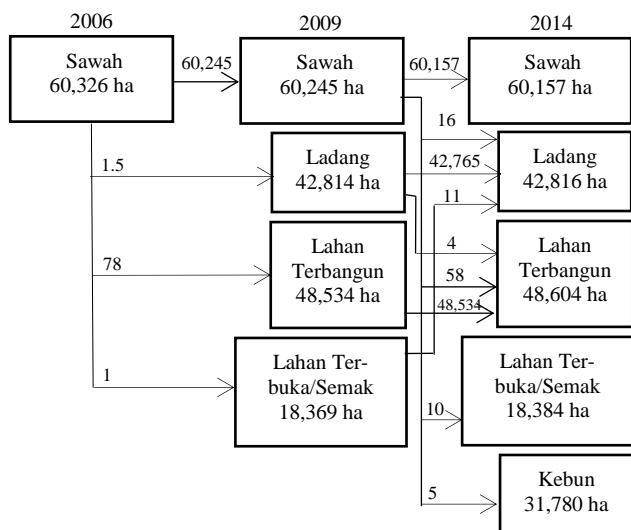
Persentase perubahan tutupan lahan di DAS Citarum Hulu selama periode 2006-2014 berkisar 1-10%. Gambar 4 menunjukkan persentase perubahan luas untuk masing-masing jenis tutupan lahan. Jenis tutupan lahan kebun/perkebunan, dan lahan terbangun cenderung mengalami peningkatan luas pada periode 2006-2014. Lahan terbangun merupakan jenis tutupan lahan dengan peningkatan luas lahan terbesar yaitu dengan total peningkatan sebesar 9.48%. Peningkatan luas lahan terbangun tersebut disertai dengan meningkatnya laju pertumbuhan penduduk di Kota Bandung yaitu dari 0.12% (2000/2010) menjadi 0.15% pada periode 2010/2014 (BPS 2016). Pola peningkatan

laju pertumbuhan penduduk juga terjadi di Kota Cimahi yaitu dari 0.21% menjadi 0.38, di Kabupaten Bandung dari 0.26% menjadi 0.50%, dan Kabupaten Bandung Barat dari 0.20% menjadi 0.35%.

Jenis tutupan lahan hutan sekunder, hutan tanaman, ladang/tegalan, lahan terbuka/semak, dan sawah mengalami penurunan luas selama periode 2006-2014. Penurunan luas lahan terbesar di DAS Citarum Hulu terjadi pada lahan sawah yaitu sebesar 5.09% selama periode 2006-2014. Penurunan luas lahan sawah dikarenakan adanya konversi sawah menjadi ladang, lahan terbangun, lahan terbuka, dan kebun dengan perubahan yang dominan adalah dari sawah menjadi lahan terbangun (Gambar 5).



Gambar 4. Persentase perubahan tutupan lahan AS Citarum Hulu periode 2006-2014



Gambar 5 Arah perubahan tutupan lahan sawah di DAS Citarum Hulu periode 2006-2014

Perubahan tutupan lahan sawah di DAS Citarum Hulu sangat dinamis. Faktor yang paling berpengaruh dari segi biofisik lahan dalam proses perubahan sawah menjadi lahan terbangun adalah kemiringan lereng. Lokasi-lokasi tempat terjadinya perubahan tersebut didominasi oleh lereng datar yaitu kelas 0-8%, elevasi antara 562-687 m dpl, dan kedekatan dengan akses

jalan. Selain langsung berubah menjadi lahan terbangun, sawah juga mengalami perubahan menjadi lahan terbuka/semak dan kemudian berubah menjadi ladang. Hal ini terjadi pada daerah yang didominasi oleh lereng datar 0-8, dekat dengan jalan, elevasi > 762 m dpl. Perubahan transisi tersebut dikarenakan adanya kebutuhan untuk memperbaiki sifat tanah sebelum dimanfaatkan untuk kegiatan pertanian (ladang).

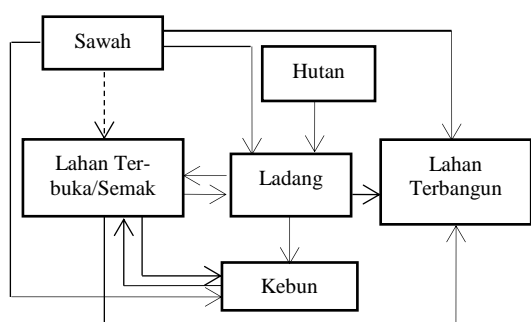
Tingginya biaya produksi yang tidak disertai peningkatan kesejahteraan petani merupakan faktor lain yang juga mempengaruhi terjadinya konversi lahan sawah menjadi lahan terbangun. Di sisi lain, lahan pada lokasi strategis memiliki nilai jual yang tinggi sehingga petani lebih tertarik untuk menjual lahannya. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Firmansyah (2016) yang menyatakan bahwa konversi lahan sawah dipengaruhi oleh faktor ekonomi (kurangnya bantuan pemerintah), sosial (kurangnya partisipasi keluarga petani dalam pengelolaan lahan sawah karena menganggap bahwa bertani tidak memiliki masa depan yang baik), dan penegakan hukum. Selain itu, Firmansyah juga menyatakan bahwa dimasa depan luas lahan sawah di DAS Citarum akan terus mengalami penurunan apabila tidak disertai adanya kebijakan pemerintah dalam perlindungan lahan sawah.

Matrik perubahan lahan disajikan pada Tabel 3 dan arah perubahan tutupan lahan di DAS Citarum Hulu

periode 2006-2014 secara sederhana disajikan pada Gambar 6.

Tabel 3. Matriks perubahan lahan

Tutupan Lahan 2006	Tutupan Lahan 2014							
	HTSD	HTNM	KBUN	LDNG	LHBG	LHTB	SWAH	TAIR
HTSD	1	0	0	0	0	0	0	0
HTNM	0	0.9991	0	0.0009	0	0	0	0
KBUN	0	0	0.9999	0	0	0.0001	0	0
LDNG	0	0	0.0004	0.9986	0.0004	0.0006	0	0
LHBG	0	0	0	0	1	0	0	0
LHTB	0	0	0.0002	0.0004	0.0006	0.9989	0	0
SWAH	0	0	0.0001	0.0002	0.0014	0.0001	0.9982	0
TAIR	0	0	0	0	0	0	0	1



Gambar 6 Arah perubahan tutupan lahan di DAS Citarum Hulu periode 2006-2014

Berdasarkan Gambar 6, terdapat 7 pola perubahan tutupan lahan yang terjadi di DAS Citarum Hulu periode 2006-2014, sebagai berikut:

- Hutan → ladang
- Ladang → lahan terbangun
- Ladang → lahan terbuka → kebun
- Sawah → lahan terbuka → lahan terbangun
- Sawah → kebun
- Sawah → ladang → lahan terbangun
- Sawah → lahan terbuka → ladang.

Hutan, sawah, dan ladang merupakan jenis tutupan lahan awal yang akan mengalami perubahan, sedangkan lahan terbangun adalah jenis tutupan lahan yang sifatnya permanen dan tidak mengalami perubahan ke bentuk tutupan lahan lainnya. Tutupan lahan terbuka/semak terkadang merupakan tutupan lahan transisi yang ke depannya mungkin saja mengalami perubahan bentuk menjadi lahan terbangun atau difungsikan kembali sebagai ladang. Hasil penelitian Munibah (2008) juga menunjukkan bahwa lahan semak merupakan penggunaan/tutupan lahan transisi baik dari lahan hutan menjadi pertanian maupun dari lahan pertanian menjadi lahan pemukiman.

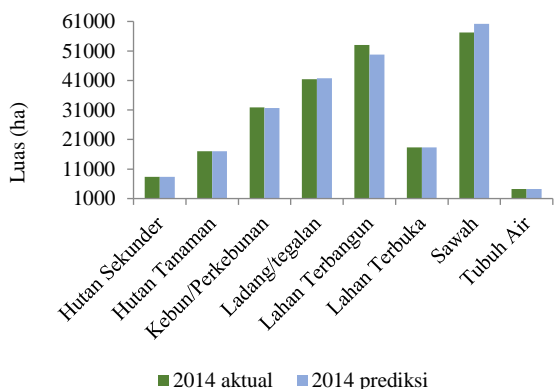
3.4 Model spasial perubahan tutupan lahan

Model terlebih dahulu divalidasi sebelum dilakukan prediksi tutupan lahan tahun 2030 *Bisnis As Usual* (BAU). Proses validasi yang dimaksud yaitu memprediksi tutupan lahan tahun 2014 menggunakan matriks probabilitas transisi yang dihasilkan model Markov chain (TPM2006-2009, TPM2009-2014, dan TPM2006-2014). Hasil validasi menunjukkan bahwa nilai Kappa untuk ketiga periode tersebut > 0.90 (Tabel 4). Berdasarkan Cohen (1960), nilai tersebut masuk dalam kategori memuaskan sehingga pe-riode mana saja dapat ditentukan sebagai periode Markov yang optimal. Meski demikian, periode yang dipilih sebagai input untuk memprediksi tutupan lahan tahun 2030 adalah TPM2006-2014 karena diharapkan dengan TPM tersebut dapat memberikan hasil perubahan tutupan lahan yang nyata di tahun 2030 terutama jenis lahan terbangun.

Tabel 4. Nilai validasi model

Periode Markov	Nilai Kappa
2006-2009	0.955
2009-2014	0.942
2006-2014	0.947

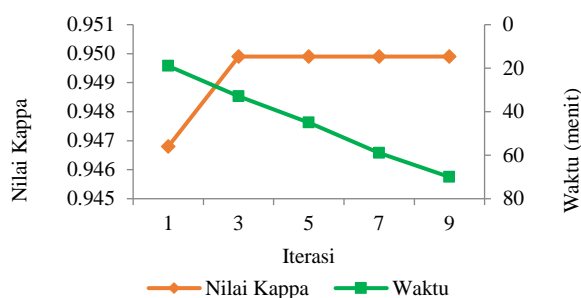
Model mampu memprediksi tutupan lahan tahun 2014 dengan baik, dengan perbedaan < 5% antara luas lahan prediksi dan aktual terhadap luas DAS. Prediksi terbaik ditunjukkan pada kelas tubuh air dimana luas lahan aktual dan prediksi sama besar. Luas masing-masing kelas tutupan lahan disajikan pada Gambar 7. Hasil penelitian Nouri *et al.* (2014) di Anzali, Provinsi Gilan, Iran menunjukkan bahwa model CA-M mampu memprediksi lahan 2011 dengan perbedaan luas lahan < 5%.



Gambar 7. Luas tutupan lahan aktual dan prediksi 2014

3.5 Validasi Model CA-M

Nilai Kappa hasil validasi model CA-M untuk berbagai iterasi ditunjukkan pada Gambar 8. Berdasarkan gambar tersebut, jumlah iterasi 7 kali merupakan iterasi yang paling baik karena selain menghasilkan nilai Kappa tertinggi (0.994), waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan proses *running* juga tidak terlalu lama (45 menit). Dengan demikian TPM2006-2009 dan iterasi 7 layak digunakan untuk memprediksi tutupan lahan tahun 2030 BAU.



Gambar 8. Hasil validasi model

3.6 Hasil prediksi tutupan lahan tahun 2030

Luas tutupan lahan aktual (2014) dan hasil simulasi 2030 disajikan pada Tabel 5. Jika dibandingkan antara Tabel 2 dan 5, maka diketahui bahwa sebagian besar tutupan lahan di DAS Citarum Hulu mengalami perubahan antara 1-10% pada periode 2006-2030. Kecenderungan setiap jenis tutupan lahan aktual terhadap hasil prediksi tutupan lahan tahun 2030 BAU disajikan pada Gambar 9. Gambar tersebut menunjukkan bahwa kecenderungan perubahan tutupan lahan hutan sekunder memiliki R^2 terendah yaitu sebesar 0.44 dan R^2 tertinggi sebesar 0.98 pada tutupan lahan ladang/tegalan. Berdasarkan Tabel 5 dan Gambar 9 diketahui bahwa jenis tutupan lahan yang

diprediksi mengalami peningkatan pada tahun 2030 adalah lahan terbangun dan lahan terbuka dengan persentase sebesar 10.6%, dan 0.1%.

Tabel 5. Persentase tutupan lahan aktual dan prediksi tahun 2030

Jenis Tutupan Lahan	2014		2030 ¹	
	ha	%	ha	%
Hutan sekunder	8,367	3.61	8,377	3.62
Hutan tanaman	17,022	7.35	16,970	7.33
Kebun	31,926	13.79	31,370	13.55
Ladang	41,394	17.88	38,384	16.58
Lahan terbangun	53,010	22.90	53,550	23.14
Lahan terbuka	18,284	7.90	18,370	7.94
Sawah	57,258	24.74	60,240	26.03
Tubuh air	4,199	1.81	4,199	1.81
Total	231,460	100	231,460	100

2030¹: prediksi tahun 2030 *Bisnis As Usual*

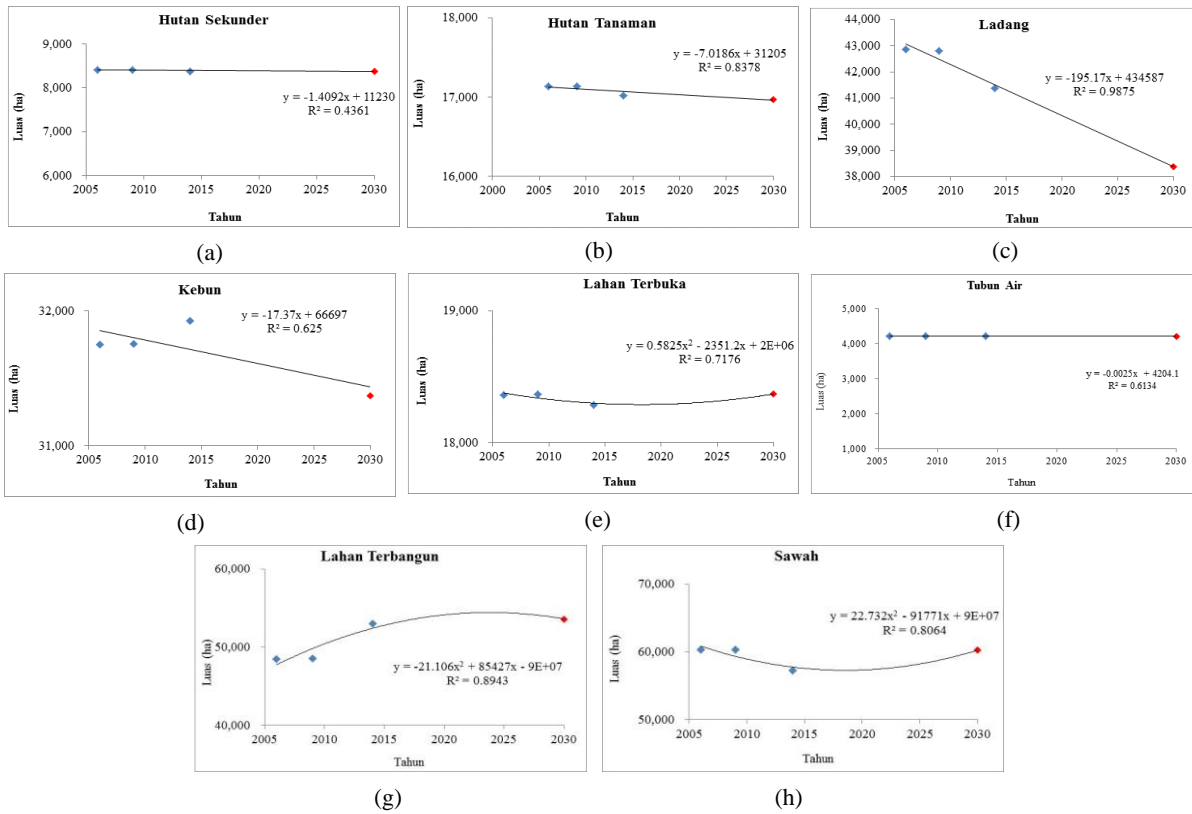
Hasil analisis tabulasi silang antara tutupan lahan tahun 2014 dan prediksi 2030 BAU menunjukkan peningkatan luas lahan terbangun berasal dari kebun, ladang/tegalan, lahan terbuka, sawah, dan tubuh air.

Tutupan lahan hutan sekunder, hutan tanaman, kebun, ladang, dan sawah diprediksi mengalami penurunan luas lahan periode 2006-2030 masing-masing sebesar 0.4, 0.9, 1.2, 10, dan 0.1%, secara berurutan. Penurunan luas lahan ladang terjadi karena adanya perubahan tutupan lahan ladang menjadi hutan tanaman, kebun/perkebunan, lahan terbangun, lahan terbuka, sawah, dan tubuh air. Luas lahan hutan tanaman berkurang karena berubah menjadi kebun/perkebunan, ladang/tegalan, dan lahan terbuka.

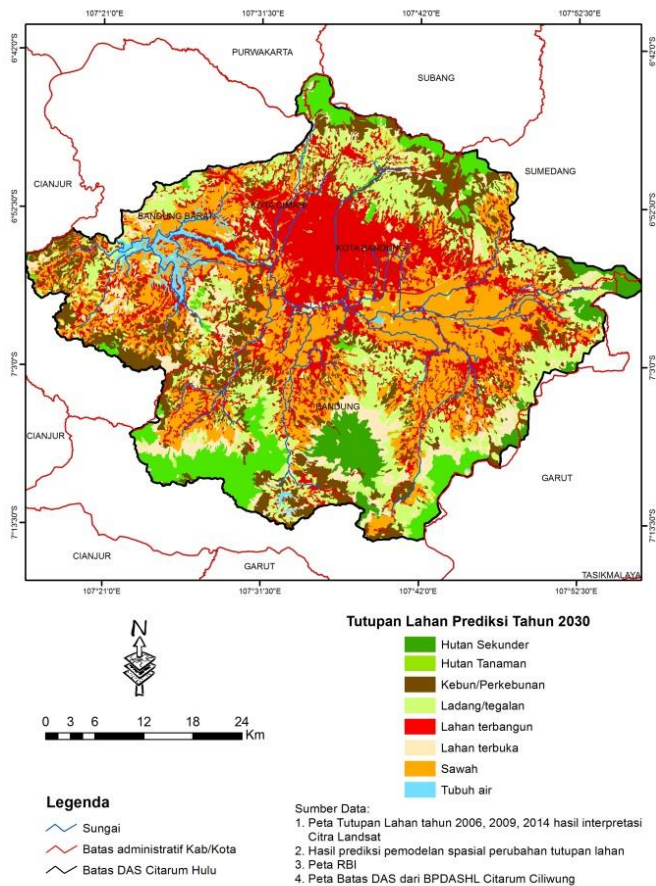
Penurunan luas lahan sawah terjadi karena terkonversi menjadi hutan tanaman, kebun/perkebunan, ladang/tegalan, lahan terbangun, lahan terbuka, dan tubuh air. Begitu pula dengan penurunan luas lahan terbuka karena terjadinya konversi lahan tersebut menjadi tujuh kelas tutupan lahan lainnya. Berdasarkan hasil tabulasi silang tersebut, konversi lahan sawah menjadi lahan terbangun merupakan perubahan yang dominan pada periode 2014-2030.

Tutupan lahan DAS Citarum Hulu tahun 2030 BAU secara spasial disajikan pada Gambar 10. Berdasarkan gambar tersebut, perubahan tutupan lahan yang terjadi di DAS Citarum Hulu lebih mengarah di bagian Kota Cimahi dan kota Bandung, serta sebagian di tenggara DAS. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Hermawan (2011) yang menyatakan bahwa arah perubahan tutupan lahan di wilayah Bandung masih didominasi di wilayah Kota Cimahi dan Kota Bandung serta bagian tenggara Bandung.

Hasil prediksi tutupan lahan tahun 2030 BAU dan 2030 aspek kebijakan disajikan pada Tabel 6. Berdasarkan tabel tersebut, diketahui bahwa jenis tutupan lahan sawah, hutan sekunder, dan hutan tanaman memiliki luas yang sama jika dibandingkan skenario yang melibatkan aspek kebijakan perlindungan lahan sawah dan hutan dengan tutupan lahan aktual tahun 2014.



Gambar 9 Kecenderungan perubahan setiap jenis tutupan lahan di DAS Citarum Hulu: hutan sekunder (a), hutan tanaman (b), ladang (c), kebun (d), lahan terbuka (e), tubuh air (f), lahan terbangun (g), dan sawah (h)



Gambar 10 Tutupan lahan DAS Citarum Hulu tahun 2030

Tabel 6. Luas lahan kondisi eksisting dan prediksi 2003

Tutupan Lahan	2014	2030 ¹	2030 ²
	ha		
Hutan sekunder	8,367	8,377	8,367
Hutan tanaman	17,022	16,970	17,022
Kebun	31,926	31,370	31,472
Ladang	41,394	38,384	40,982
Lahan terbangun	53,010	53,550	53,782
Lahan terbuka	18,284	18,370	18,379
Sawah	57,258	60,240	57,258
Tubuh air	4,199	4,199	4,199
Total	231,460	231,461	231,460

Jenis tutupan lahan kebun/perkebunan dan ladang/tegalan hasil prediksi tahun 2030 dengan aspek kebijakan (2030²) mengalami penurunan luas jika dibandingkan dengan tahun 2014. Akan tetapi, penurunan tersebut lebih rendah apabila dibandingkan dengan penurunan yang terjadi pada hasil prediksi tahun 2030 BAU (2030¹) yaitu masing-masing sebesar 1.4 dan 1.0% dibandingkan 1.7 dan 7.3%. Jenis tutupan lahan terbangun mengalami peningkatan lebih besar pada hasil prediksi tahun 2030 dengan aspek kebijakan yaitu sebesar 1.5% dibandingkan hasil prediksi tahun 2030 BAU yang hanya mencapai 1%.

Perbedaan persentase penurunan luas kebun/perkebunan, dan ladang/tegalan, serta peningkatan lahan terbangun dan lahan terbuka/semak antara berbagai skenario dikarenakan perlindungan terhadap lahan sawah dan hutan agar tidak mengalami perubahan luas, sehingga terjadi distribusi perubahan yang berbeda-beda pula dari satu piksel tutupan lahan menjadi piksel tutupan lahan lainnya pada setiap skenario.

4. Kesimpulan

Perubahan tutupan lahan di DAS Citarum Hulu pada periode 2006-2014 didominasi oleh peningkatan jenis tutupan lahan terbangun yaitu sebesar 9.48%. Kecenderungan pola perubahan tutupan lahan yang terjadi yaitu dari hutan menjadi lahan terbuka dan ladang/tegalan, ladang/tegalan menjadi kebun/perkebunan dan lahan terbangun, sawah menjadi kebun/perkebunan dan lahan terbangun, dengan perubahan dominan dari lahan sawah menjadi lahan terbangun.

Jenis tutupan lahan kebun dan lahan terbangun mengalami peningkatan luas pada tahun 2030, sedangkan hutan, ladang, lahan terbuka, dan sawah mengalami penurunan. Terjadinya penurunan lahan sawah dan hutan perlu diantisipasi sesuai dengan kebijakan yang tertuang dalam UU No 41/2009 tentang Perlindungan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan dan UU No 41/1999 tentang Kehutanan. Penerapan kebijakan perlindungan lahan sawah berkelanjutan dan kebijakan mempertahankan kawasan hutan menyebabkan pola perubahan lahan didominasi oleh

peningkatan luas lahan terbangun, dan penurunan lahan kebun/perkebunan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi atas dukungan beasiswa yang diberikan melalui DIPA 2012. Terima kasih pula diucapkan kepada Southeast Asian Regional Centre for Tropical Biology, yang memberikan dukungan melalui program bantuan penelitian 172-DIPARES-III-2016.

Daftar Pustaka

- [1] Adronita, 2011. Analisis debit sungai dengan model SWAT pada berbagai penggunaan lahan di DAS Citarum Hulu Jawa Barat. Tesis. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [2] Agaton M, Y. Setiawan, H. Effendi, 2016. Land use/land cover change detection in an urban watershed: a case study of upper Citarum watershed, West Java Province, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences* 33, pp. 654-660.
- [3] [ADB] Asian Development Bank, 2013. Downstream impacts of water pollution in the Upper Citarum River, West Java, Indonesia: Economic assessment of interventions to improve water quality. Water and Sanitation Program: Technical Paper. [terhubung berkala]. <http://www.adb.org> [8 September 2008].
- [4] [BPS] Badan Pusat Statistik, 2016. Provinsi Jawa Barat dalam Angka. BPS Jawa Barat, Bandung.
- [5] [CWRD] Center for Water Resources Research and Development, 2012. Study on effects of land use change on hydrological characteristic of watershed. Ministry of General Work and Asian Development Bank, Jakarta.
- [6] Cohen, J., 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement* 20 (37).
- [7] Cole, R., 2005. The use of cellular automata-markov chain analysis to predict land use change around a village in Mali. [terhubung berkala]. <http://www.gvsu.edu/geography> [2011 Mei 18].
- [8] [Dephut] Departemen Kehutanan, 2009. Rencana pengelolaan DAS Citarum terpadu: buku ke-1 laporan utama. Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial, BPDAS Citarum-Ciliwung, Bogor.
- [9] Eastman, J. R., L. A. Solorzano, M. E. van Fossen, 2005. Transition potential modeling for land cover change. Dalam: Maguire D. J., M. Batty, dan M. F. Goodchild, editors. *GIS, Spatial Analysis, and Modeling*, pp. 357-385. ESRI Press, California.
- [10] Hidayat, F., 2014. Optimalisasi penggunaan lahan untuk pengembangan sumberdaya air DAS Mahat Hulu di Kabupaten Lima Puluh Kota Sumatera Barat. Disertasi. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor
- [11] Firmansyah, I. 2016. Model pengendalian konversi lahan sawah di dalam DAS Citarum. Disertasi. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor
- [12] Hedge, N. P., Muralikrishna IV, K. V. Chalapatirao, 2008. Settlement growth prediction using neural network and cellular automata. *JATIT*, pp. 419-428. [terhubung berkala]. <http://www.jatit.org> [1 Maret 2014].
- [13] Hermawan, E., 2011. Modeling and simulating spatial distribution pattern of urban growth using integration of GIS and Cellular automata. Thesis. Postgraduated School, Bogor Agricultural University, Bogor.
- [14] Jie, Z., 2010. Accuracy assessment and uncertainty analysis of spatial explicit modeling for land use/cover change and urbanization: A case in Beijing metropolitan area. *Science China Earth Sciences* 53 (2), pp. 173-80.
- [15] Kamusoko, C., M. Aniya, B. Adi, M. Manjoro, 2009. Rural sustainability under threat in Zim-babwe – Simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on

- the Markov-cellular automata model. *Journal Applied Geography* 29, pp. 435-447.
- [16] Lillesand T. M., R. W. Kiefer, 1994. *Remote sensing and image interpretation*. Third edition. John Wiley dan Sons, Inc. New York.
- [17] Mas, J. F., M. Kolb, M. Paeglow, M. C. Olmedo, T. Houet, 2014. Modeling land use/cover change changes: a comparison of conceptual approaches and softwares. *Environmental Modeling and Software* 51, pp. 94-111.
- [18] Mondal, Md. S., N. Sharma, P. K. Garg, M. Kappas, 2016. Statistical independence test and validation of CA Markov land use land cover (LULC) prediction results. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 19, pp. 259-272.
- [19] Munibah, K., 2008. Model spasial perubahan penggunaan lahan dan arahan penggunaan lahan berwawasan lingkungan (Studi kasus DAS Cidanau, Provinsi Banten). Disertasi. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [20] Nouri, J., A. Gharagozlou, R. Arjmandi, 2014. Predicting urban land use changes using a CA-Markov Model. *Arabian Journal for Science and Engineering*.
- [21] Prasena, A., D. B. P. Shrestha, 2013. Assessing the effects of land use change on runoff in Bedog Sub Watershed Yogyakarta. *Indonesian Journal of Geography* 45 (1), pp. 48-61.
- [22] Riccioli, F., T. E. Asmar, J. P. E. Asmar, R. Fratini, 2013. Use of cellular automata in the study of variables involved in land use changes: An application in the wine production sector. *Environ Monit Assess* 185, pp. 5361-5374.
- [23] Verburg, P. H., T. A. Veldkamp, J. Bouma, 1999. Land use change under conditions of high population pressure: the case of Java. *Global Environmental Change* 9 (4), pp. 303-312.
- [24] Vink, A. P. A., 1975. *Land Use in Advancing Agriculture*. Springer-Verlag, New York.
- [25] Wang, S. Q., X. Q. Zheng, X. B. Zang, 2012. Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov-cellular automata model. *Procedia Environmental Sciences* 13, pp. 1238-1245.
- [26] Xin, Y., Z. Xin-Qi, Lv. Li-Na, 2012. A spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization, Markov chain and cellular automata. *Journal of Ecological Modelling*, pp. 11-19.