

PEMODELAN PENETAPAN LAHAN SAWAH BERKELANJUTAN BERBASIS REGRESI LOGISTIK DAN EVALUASI LAHAN MULTIKRITERIA DI KABUPATEN SUKABUMI

*(Modelling on Development of Sustainable Paddy Field Zone
Based on Logistic Regression and Multicriteria Land Evaluation
at Sukabumi Regency)*

Sigit Santosa¹, Ernan Rustiadi², Budi Mulyanto², K. Murti Laksono², Widiatmaka² dan Noer F. Rachman³

¹ Program Studi Ilmu Tanah, Sekolah Pascasarjana, IPB

² Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan, Faperta, IPB

³ Departemen Sains Komunikasi dan Pengembangan Masyarakat, Fema, IPB
Jl. Meranti, Kampus IPB Dramaga Bogor 16680
E-mail: sigit.santosa@gmail.com

Diterima (received): 11 Oktober 2014; Direvisi (revised): 26 Oktober 2014; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 13 November 2014

ABSTRAK

Alih fungsi sawah terus terjadi di Pulau Jawa sehingga mengancam ketahanan pangan nasional. Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) dan kebijakan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan (LP2B) belum mampu mengendalikan alih fungsi sawah. Penelitian ini bertujuan untuk membangun model penetapan lahan sawah berkelanjutan menggunakan metode regresi logistik dan evaluasi lahan multikriteria. Penelitian dilaksanakan di Kabupaten Sukabumi yang merupakan wilayah perbukitan di bagian selatan Pulau Jawa dengan luas lahan sawah yang cukup besar dan mendukung ketersediaan pangan nasional. Pemodelan dibangun berdasarkan karakteristik alih fungsi lokal dengan mempertimbangkan konsep pembangunan berkelanjutan. Variabel-variabel penting yang mendukung terjadinya alih fungsi sawah yang dipertimbangkan adalah jarak sawah terhadap jalan, permukiman, dan industri. Hasil regresi logistik selanjutnya menjadi masukan bobot bagi evaluasi lahan multikriteria yang dapat menghasilkan tiga skenario kebijakan perlindungan sawah, yaitu standar, protektif, dan permisif guna kepentingan pembangunan. Melalui pemodelan ini diperoleh sawah-sawah prioritas lindung yang memudahkan pengelolaannya dan sekaligus menjadi penyangga bagi sawah-sawah di belakangnya.

Kata Kunci: model perlindungan lahan sawah berkelanjutan, regresi logistik, evaluasi lahan multikriteria

ABSTRACT

Conversion of paddy fields has continuously occurred in Java Islands, thus threatens a national food security. The Regional Spatial Planning and the Policy on Sustainable Food-crop Agricultural programs seem to be unable to control paddy field conversion. This research was conducted to develop a sustainable paddy field zone delineation model using logistic regression and multicriteria land evaluation. The research location is in the Sukabumi Regency which has various morphology and large paddy fields to support national food security. The model is developed by local conversion characteristics and considering the concept of sustainable development. Important variables that contribute to paddy fields conversion are the distance to road, settlements and industrial regions. Results of logistic regression then become the input for weighted criteria to develop three policy scenarios of paddy fields protection; standard, protective, and permissive in order to support regional development. Through this model, we obtain the priority paddy fields to be protected as well as become buffer zones for the surrounding paddy fields.

Keywords: paddy fields protection model, logistic regression, multicriteria land evaluation

PENDAHULUAN

Sampai saat ini, isu ketahanan pangan masih menjadi pokok permasalahan di Indonesia dalam penyediaan bahan makanan pokok khususnya beras. Lahan sawah merupakan penghasil utama beras di Indonesia. Pada tahun 2012, lahan sawah telah menghasilkan 65,188 juta ton gabah/tahun, dihasilkan dari 12,281 juta ha luas panen, atau menyumbang 94,4% dari total produksi beras di

Indonesia, sedangkan sisanya 5,6% dihasilkan oleh padi gogo yang ditanam di lahan kering (BPS, 2013). Pulau Jawa merupakan penyumbang dominan produksi beras di Indonesia. Berdasarkan sebarannya, sawah terluas berada di Pulau Jawa dan Bali yaitu mencapai 44% dari total sawah di Indonesia (BPN, 2007). Menurut Widiatmaka *et al.* (2013) dan Widiatmaka *et al.* (2014), Pulau Jawa dengan luas 7% daratan Indonesia berkontribusi sebesar 52,32% produksi beras nasional.

Alih fungsi sawah banyak terjadi di wilayah pinggiran kota, khususnya di sepanjang pantai utara Pulau Jawa. Hal ini terjadi karena perkembangan kota dan sawah *existing* berada pada wilayah tersebut. Menurut Rustiadi dan Wafda (2008), konversi lahan sawah antara 1999-2000 di Pulau Jawa banyak terjadi di Jawa Barat yakni sebesar 0,199 juta ha. Penelitian lain dari Direktorat Jenderal Pengelolaan Lahan dan Air (2008) menunjukkan bahwa di Pulau Jawa, konversi lahan sawah yang menjadi perumahan sebesar 58,7%, sedangkan yang menjadi industri, perkantoran dan pertokoan adalah 21,8% dari total konversi lahan sawah. Menurut publikasi BPN (2007), sepanjang 1994-2004 telah terjadi alih fungsi lahan sawah di Pulau Jawa dan Bali sebesar 36.000 ha atau sekitar 3.600 ha/tahun atau lebih luas dari lapangan sepak bola per harinya. Upaya perlindungan sawah di Pulau Jawa menjadi penting untuk menjaga ketahanan pangan nasional.

Upaya pemerintah dalam mempertahankan sawah dilaksanakan berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) dan program Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan (LP2B). Namun demikian, keberadaan RTRW belum mampu secara efektif mencegah alih fungsi lahan sawah. Hasil penelitian Dewi (2010) menunjukkan bahwa masyarakat belum mengerti tentang RTRW, sedangkan Isa (2007) menyebutkan bahwa terdapat 42% dari luas sawah beririgasi yang perencanaan pemanfaatannya bukan untuk lahan sawah. Sampai dengan September 2012, baru terdapat 66 kabupaten/kota yang telah berkomitmen dalam perlindungan lahan pertanian pangan berkelanjutan dalam RTRW-nya (Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian, 2012). Penyusunan RTRW dan LP2B idealnya didasarkan pada prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan dengan memperhatikan karakteristik alih fungsi sawah lokal. Karakteristik alih fungsi sawah dapat ditelusuri melalui regresi logistik, yang selanjutnya menjadi input evaluasi multikriteria untuk penetapan lahan sawah berkelanjutan.

Regresi logistik merupakan satu model matematis untuk menganalisis hubungan variabel-variabel bebas baik berupa data *continue*, *discrete*, *dichotomus*, atau kombinasinya yang mempengaruhi satu variabel terikat (Mc Cullagh & Nelder, 1989 dalam Arsanjani, *et al.*, 2013). Teknik analisis ini telah dilakukan pada alih fungsi hutan (Kumar, *et al.*, 2014; Siles, 2009; Arekhi, 2011), pertumbuhan kota (Arsanjani, *et al.*, 2013; Guo, 2012; Hu and Lo, 2007). Penelitian-penelitian tersebut telah sukses mengungkap faktor-faktor penentu dari alih fungsi penggunaan lahan. Faktor-faktor tersebut selanjutnya digunakan untuk melakukan prediksi penggunaan lahan dengan periode waktu tertentu di masa mendatang. Guo (2012) dan Hu and Lo (2007) menggarisbawahi bahwa metode regresi logistik mampu menangani berbagai variabel baik aspek fisik, tata ruang, demografi, sosial, dan ekonomi serta kebijakan pembangunan tata guna lahan dan perlindungan

lingkungan dalam waktu pengolahan data relatif cepat. Namun demikian, regresi logistik kurang memperhatikan dinamika temporal dan preferensi pribadi pengembangan penggunaan lahan.

Evaluasi multikriteria pada dasarnya merupakan satu ekspresi atau sikap untuk mempertimbangkan banyak masukan atau pengaruh dalam menentukan hasil. Istilah tersebut lebih banyak berkaitan dengan proses pengambilan keputusan dimana dengan mengkombinasikan banyak faktor dapat memberikan banyak pilihan atau hasil. Penelitian dengan menggunakan metode ini telah dilakukan oleh Shiddiq (2011) dalam hal menentukan ketersediaan lahan sawah, Akinci *et al.* (2013) yang meneliti tentang kesesuaian lahan untuk penggunaan lahan pertanian, Gorsevski *et al.* (2012) dalam evaluasi kesesuaian tempat pembuangan sampah, Widiatmaka *et al.* (2014) yang menggunakan teknik ini untuk delineasi wilayah revitalisasi tambak udang, dan Bottero *et al.* (2013) yang meneliti tentang analisis kesesuaian wilayah yang memperhatikan konservasi keanekaragaman hayati. Melalui penelitian tersebut dapat dibuktikan bahwa evaluasi multikriteria dapat membantu dalam pengambilan keputusan secara lebih fleksibel. Pada penelitian-penelitian tersebut, metode yang digunakan dalam pemberian bobot adalah *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

Dalam rangka mendukung ketahanan pangan nasional, upaya perlindungan sawah di wilayah selatan Pulau Jawa menjadi sama penting dengan pengendalian alih fungsi sawah wilayah pantai utara Jawa. Hal ini disebabkan karena perbukitan selatan Jawa telah menjadi lumbung beras nasional. Di antara kabupaten-kabupaten di Provinsi Jawa Barat bagian selatan, Kabupaten Sukabumi merupakan wilayah dengan luas sawah nomor 2 terbesar di Jawa Barat, setelah Kabupaten Cianjur (BPS, 2012). Keberhasilan pemerintah dalam melindungi sawah-sawah di wilayah tersebut menjadi kunci bagi keberhasilan meningkatkan ketahanan pangan nasional.

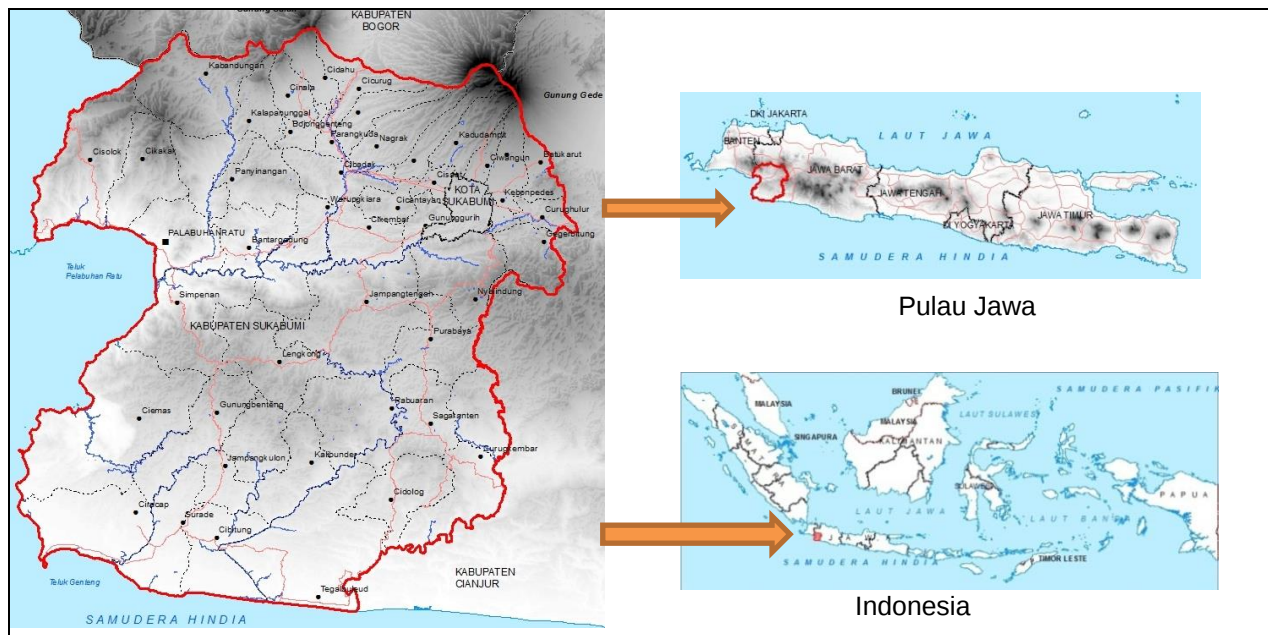
Dalam rangka mendukung hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membangun model penetapan lahan sawah berkelanjutan di Kabupaten Sukabumi. Model penetapan lahan sawah berkelanjutan disusun dengan mempertimbangkan aspek-aspek pembangunan berkelanjutan. Karakteristik alih fungsi sawah lokal dianalisis menggunakan regresi logistik. Karakteristik lokal tersebut digunakan sebagai pembobot dalam penetapan lahan sawah berkelanjutan menggunakan evaluasi multikriteria.

METODE

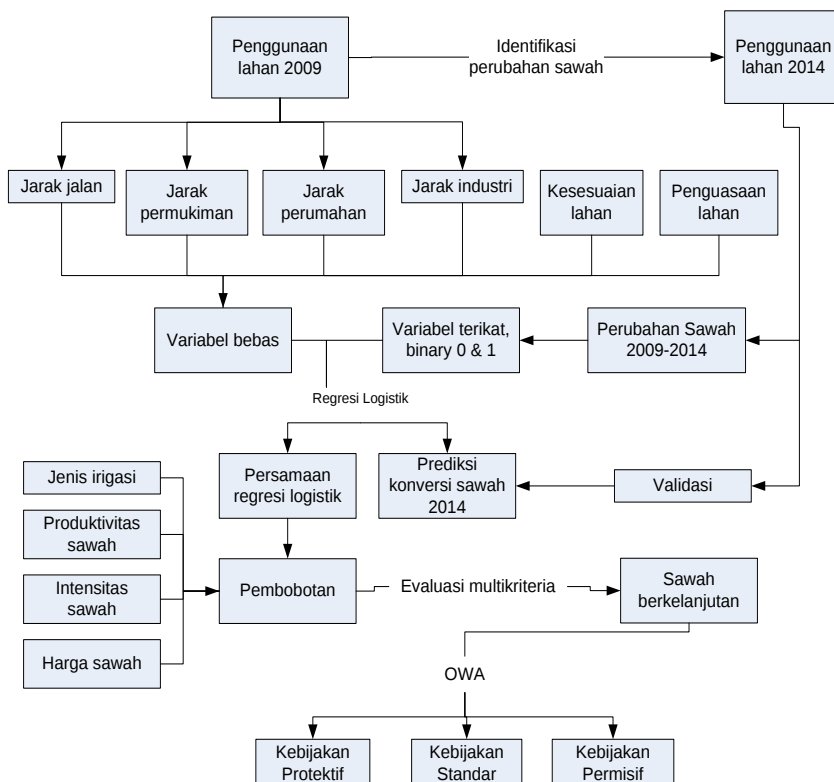
Penelitian ini mengambil studi kasus Kabupaten Sukabumi yang merupakan kabupaten di wilayah selatan Pulau Jawa. Kabupaten ini dikenal dengan perkebunannya semenjak masa penjajahan Belanda. Memiliki morfologi bervariasi dari datar, bergelombang, berbukit, hingga

bergunung. Sawah mulai berkembang sejak pemerintah Jepang menetapkan kawasan tersebut sebagai Kawasan Pertanian pada tahun 1942-1945 (Galudra, dkk., 2005). Hingga saat ini, Kabupaten Sukabumi merupakan wilayah dengan luas sawah nomor 2 terbesar setelah Kabupaten Cianjur di Provinsi Jawa Barat (BPS, 2012). Meskipun tidak mengalami pertumbuhan secepat wilayah Jabodetabek, Kabupaten Sukabumi memiliki peringkat kedua sebagai daerah penyangga kedua dari pusat pertumbuhan ekonomi. Pertumbuhan

ekonomi telah berdampak pada alih fungsi lahan sawah. Alih fungsi sawah dapat dilihat di wilayah Bandung, Indramayu, Ciamis, dan Sukabumi dengan besaran berturut-turut sebesar 20, 18, 13, 18 ribu ha selama 18 tahun pada periode tahun 1981-1998 (Irawan dan Friyatno, 2002). Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**, sedangkan diagram kerja menyeluruh penelitian tersaji pada **Gambar 2**. Diagram kerja tersebut merupakan gambaran umum dari penjelasan-penjelasan selanjutnya pada artikel ini.



Gambar 1. Lokasi Penelitian.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Software yang digunakan dalam penelitian ini adalah Idrisi Selva versi 17.02 dan ArcGIS 10.1. Data utama yang digunakan adalah peta penggunaan lahan 2009 skala 1:10.000 yang berasal dari Direktorat Pemetaan Tematik BPN hasil delineasi Citra Ikonos. Peta tersebut diperbarui menggunakan citra satelit Ikonos 2013 dan survei lapangan pada tahun 2014. Penggunaan lahan hanya dilakukan pada penggunaan lahan sawah.

Data lain yang digunakan adalah Peta Gambaran Umum Penguasaan Tanah dan Peta Rencana Tata Ruang Kabupaten Sukabumi yang diperoleh dari Kantor Pertanahan BPN Kabupaten Sukabumi. Peta Kesesuaian Lahan untuk tanaman padi sawah dibuat menggunakan data primer. Analisis yang digunakan untuk menentukan kelas kesesuaian lahan adalah dengan metode pencocokan (*matching*) (Hardjowigeno dan Widiatmaka, 2007). Sebelum dilakukan analisis regresi logistik dan multikriteria, data tersebut diseragamkan terlebih dahulu format datanya. Standar format data tersebut dapat dilihat melalui **Tabel 1**.

Tabel 1. Standar format data analisis Kabupaten Sukabumi.

Parameter	Keterangan
Kolom	3480
Baris	3800
Sistem koordinat	UTM Zona 48 S
Unit koordinat	Meter
Unit jarak	1.00
Minimum x	650000
Maximum x	737000
Minimum y	9176000
Maximum y	9271000
Resolusi X	25
Resolusi Y	25

Regresi Logistik

Regresi logistik adalah satu varian regresi dimana digunakan pada variabel terikat merupakan *binary (dichotomous)*, yaitu 1 = perubahan sawah dan 0 = tidak ada perubahan sawah. Analisis dilakukan untuk data penggunaan lahan periode 2009-2014. Fungsi logistik memberikan probabilitas perubahan sawah sebagai fungsi dari variabel penjelas (bebas). Dengan kata lain, kemungkinan perubahan sawah pada setiap piksel adalah fungsi dari nilai variabel penjelas pada piksel yang sama. Hasil model adalah nilai peluang *continous* antara 0 dan 1. Dengan demikian, regresi logistik digunakan untuk mengungkap variabel-variabel alih fungsi sawah di Kabupaten Sukabumi. Rumus regresi logistik disajikan pada **Persamaan 1**. Rumus tersebut selanjutnya dapat ditransformasikan secara linear yang disebut sebagai transformasi logit seperti pada **Persamaan 2** dan **Persamaan 3**.

$$p = E(Y) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4}} \dots (1)$$

$$p' = \log_e \left(\frac{p}{1-p} \right) \dots (2)$$

$$p' = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 \dots (3)$$

dimana:

- p = peluang alih fungsi sawah
- $E(Y)$ = nilai yang diharapkan dari variabel terikat Y
- β_0 = konstanta yang diperkirakan
- β_i = koefisien untuk tiap-tiap variabel X_i

Fungsi transformasi melalui regresi linear mampu mengestimasi nilai setiap β_i . Persamaan tersebut diterapkan pada setiap piksel sehingga hasil akhir berupa nilai peluang (p) alih fungsi sawah untuk setiap piksel. Pada penelitian ini, analisis regresi logistik hanya dilakukan pada wilayah Kabupaten Sukabumi bagian utara. Pembatasan luas lokasi dilakukan karena besarnya data poligon yang dianalisis apabila menggunakan seluruh kabupaten, sehingga akan berakibat lambatnya proses analisis. Lokasi analisis mencapai 20.000 poligon dari 31.000 total poligon Kabupaten Sukabumi. Pemilihan lokasi juga didasarkan pada perubahan penggunaan lahan yang lebih dinamis di bagian utara kabupaten. Persamaan yang diperoleh selanjutnya diimplementasikan pada evaluasi multikriteria untuk seluruh wilayah Kabupaten Sukabumi, termasuk wilayah selatan.

Model regresi logistik mensyaratkan semua variabel dikalibrasi sehingga selaras dengan perubahan sawah. Dengan demikian, semua variabel dinormalisasi antara 0,1 dan 0,9. Variabel jarak ditransformasi menggunakan metode *natural log*, sedangkan variabel *categorical* menggunakan metode *evidence likelihood* (Kumar *et al.*, 2014; Siles, 2009). Variabel dan transformasinya tersaji pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Variabel-variabel bebas beserta metode transformasinya.

No	Variabel	Transformasi
1	Jarak jalan	<i>natural log</i>
2	Jarak industri	<i>natural log</i>
3	Jarak permukiman	<i>natural log</i>
4	Jarak perumahan	<i>natural log</i>
5	Kesesuaian Sawah	<i>evidence likelihood</i>
6	Lahan Basah 2012	<i>evidence likelihood</i>

Dalam pelaksanaannya, uji regresi logistik dilaksanakan pada beragam kombinasi variabel bebas baik jumlah maupun jenisnya. Kombinasi variabel dilaksanakan dari 2 hingga 7 kombinasi variabel. Namun dikarenakan keterbatasan tempat, maka dalam tulisan ini hanya disampaikan 8 kombinasi terbaik. Kombinasi terbaik adalah yang memiliki hasil pseudo R-square mendekati 0,2 dengan jenis pengaruh (positif/negatif) sesuai dengan pengamatan lapangan (Hu & Lo, 2007).

Hasil akhir regresi logistik selain persamaan hubungan variabel terhadap alih fungsi sawah, juga menghasilkan peta prediksi alih fungsi sawah tahun 2014 dan residu peta sawah. Residu merupakan selisih antara peta observasi yaitu sawah 2014 dengan prediksi alih fungsi sawah 2014. Peta hasil prediksi divalidasi dengan metode ROC (*Relative Operation Characteristic*) yang membandingkan nilai piksel antara dua peta berdasarkan pengambilan contoh dalam jumlah tertentu.

Evaluasi Multikriteria

Evaluasi multikriteria dilakukan untuk menetapkan sawah berkelanjutan untuk seluruh wilayah Kabupaten Sukabumi menggunakan Idrisi pada menu *decision wizard*. Pembobotan dalam analisis ini menggunakan hasil persamaan dari regresi logistik. Penetapan lahan sawah berkelanjutan menggunakan metode evaluasi multikriteria (*Multi Criteria Evaluation/MCE*) dengan pendekatan analisis spasial metode *weighted analysis*. MCE terdiri atas dua hal yaitu penetapan tujuan dan penetapan kriteria. Kriteria dibagi menjadi faktor dan kendala. Faktor terdiri atas subfaktor yang merupakan kriteria untuk mencapai tujuan. Persamaan matematis dari analisis *Weighted Linear Combination (WLC)* seperti pada **Persamaan 4**.

$$WLC = (\sum_{i=1}^n X_{ij} \times W_{ij}) \times C_j \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

- X_{ij} = derajat kesesuaian faktor ke-j di lokasi ke-i
- W_{ij} = bobot faktor/subfaktor ke-j di lokasi faktor
- C_j = konstrain pada faktor/subfaktor ke-j

Metode WLC didasarkan pada asumsi bahwa setiap faktor memiliki bobot yang berbeda-beda. Proses penentuan bobot ini dilakukan dengan menggunakan hasil dari analisis regresi logistik, dimana diperoleh urutan dan besaran peran variabel alih fungsi sawah di Kabupaten Sukabumi. Nilai tersebut selanjutnya dijadikan bobot dalam evaluasi multikriteria. Empat variabel terakhir tidak dapat dibobot melalui regresi logistik dikarenakan variabel produktivitas, intensitas, dan jenis irigasi merupakan variabel yang menempel/intrinsik dari sawah *existing*, sedangkan data harga sawah tidak diperoleh.

Pada saat survei lapangan, sawah-sawah yang berjarak 50 m dari pinggir jalan memiliki harga lebih mahal dibandingkan dengan yang terletak di belakangnya, sehingga penilaian harga sawah dibedakan pada batas 50 m dari pinggir jalan utama. Pembobotan dilakukan dengan pemberian nilai maksimum berdasarkan pengamatan pengaruhnya di lapangan serta dikaitkan dengan tujuan upaya perlindungan lahan sawah. Keempat variabel tersebut dibobot sama karena pengaruhnya relatif sama. Hasil pembobotan dan normalisasi disajikan pada **Tabel 3**.

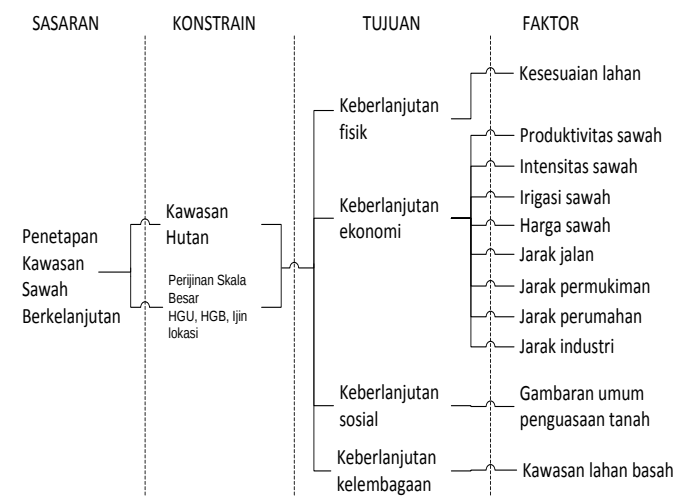
Pada evaluasi multikriteria, parameter-parameter yang digunakan dalam rangka

mendukung pembangunan berkelanjutan meliputi (a) faktor fisik meliputi kesesuaian lahan; (b) faktor ekonomi meliputi penggunaan lahan dan kisaran harga sawah; (c) faktor sosial meliputi penguasaan lahan; dan (d) faktor kelembagaan meliputi rencana tata ruang wilayah. Desain evaluasi multikriteria secara utuh dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Tabel 3. Pembobotan Variabel-variabel Penyusun Lahan Sawah Berkelanjutan.

Variabel	Bobot		
	RL	Penyesuaian	Normalisasi
<i>d</i> jalan	-0,462	0,462	0,0796
<i>d</i> perumahan	-0,415	0,415	0,0716
<i>d</i> industri	-0,317	0,317	0,0547
<i>d</i> lahan	0,306	0,306	0,0528
<i>d</i> permukiman	-0,301	0,301	0,0519
Jenis irigasi	-	1	0,1724
Harga sawah	-	1	0,1724
Intensitas	-	1	0,1724
Produktivitas	-	1	0,1724
Jumlah		5,801	1,0000

Keterangan: RL adalah regresi logistik, *d* adalah jarak.



Gambar 3. Desain evaluasi multikriteria penetapan lahan sawah berkelanjutan.

Dalam evaluasi multikriteria, variabel-variabel terlebih dahulu dilakukan standardisasi maupun penetapan fungsi *fuzzy* (Gorsevski *et al.*, 2012). Standardisasi merupakan proses transformasi dan penyekalaan kriteria asli menjadi unit-unit yang dapat diperbandingkan. Sebagai contoh, standardisasi kriteria raster menjadi nilai antara 0 dan 1 untuk setiap piksel menggunakan fungsi keanggotaan *fuzzy* yakni *sigmoidal*, *j-shaped*, dan bentuk-bentuk kompleks lainnya. Fungsi lain standardisasi adalah untuk mengelola penetapan ketidakpastian. Standardisasi dan fungsi *fuzzy* didasarkan pada karakteristik pengaruh variabel tersebut terhadap alih fungsi lahan sawah. Secara

umum, variabel terbagi atas dua jenis yaitu variabel jarak dan variabel kategorikal. Untuk variabel jarak, penetapan fungsi *fuzzy* dilakukan dengan melihat kecenderungan jarak terhadap luasan alih fungsi yang terjadi. Sebagai contoh pada variabel jarak terhadap permukiman, alih fungsi sawah banyak terjadi pada sawah-sawah yang berjarak hingga 500 m. Variabel dengan jangkauan jarak alih fungsi sawah terbesar adalah perumahan, industri, dan jalan berturut-turut 4.500 m, 2.800 m, dan 1.500 m.

Pada variabel kategorikal, penetapan nilai standarisasi antara 0-255 dilakukan atas pertimbangan luasan sawah yang terkonversi di tiap-tiap kelas pada masing-masing variabel. Standarisasi dilakukan juga dengan menggunakan asumsi bahwa semua nilai terbaik di masing-masing variabel diberikan skor 255. Pada variabel kesesuaian lahan untuk tanaman padi sawah, alih fungsi paling banyak terjadi pada sawah dengan kelas kesesuaian lahan S2 yang mencapai 65,77 ha (63,6%) dari 103,36 ha alih fungsi sawah. Dengan demikian, kelas kesesuaian S2 diberikan nilai 250, sedikit di bawah kelas S1. Hal ini terjadi karena wilayah Kabupaten Sukabumi memiliki

sedikit lahan S1, sehingga sebagian besar perkembangan wilayah dan alih fungsi berada pada kelas lahan S2. Dengan demikian, kelas lahan S2 menjadi pijakan perlindungan lahan sawah terhadap alih fungsi. Hasil penetapan *fuzzy* set dan fungsi variabel tersaji pada **Tabel 4**.

Hasil dari evaluasi multikriteria, selanjutnya diuji dengan analisis *Ordered Weighted Average* (OWA). Metode OWA adalah teknik untuk memberikan peringkat pada kriteria dan mengelola interaksi ketidakpastian (*uncertainty*). Metode OWA akan menghasilkan skenario skala *continues* antara irisan (*risk adverse*) dengan *union* (*risk taking*) secara detail dapat dilihat pada Gorsevski *et al.* (2012). Metode OWA memberikan beragam pilihan di antara dua sisi ekstrim yakni hanya berfokus untuk melindungi sawah-sawah terbaik saja dan melindungi hampir semua sawah yang ada. OWA merupakan bagian dari MCE dalam Idrisi, yang mampu memberikan gambaran seberapa besar resiko dari skenario kebijakan yang diambil apakah standar, protektif, atau permisif. Metode OWA merupakan metode efektif untuk menyesuaikan *trade-off* dan kompensasi antar-kriteria.

Tabel 4. *Fuzzy set* dan fungsi variabel dengan titik kontrol untuk penetapan lahan sawah berkelanjutan.

Tujuan keberlanjutan	Variabel	Titik kontrol a	Titik kontrol b	Standarisasi/Fungsi fuzzy
Faktor fisik	Kesesuaian lahan			
	S1			255
	S2			250
	S3			150
	N1			36
	N2			74
Faktor ekonomi	Jarak permukiman	0 m	500 m	<i>Sigmoidal increasing</i>
	Jarak perumahan	0 m	4500 m	<i>Sigmoidal increasing</i>
	Jarak industri	0 m	2800 m	<i>J-shaped increasing</i>
	Jarak jalan	0 m	1500 m	<i>Sigmoidal increasing</i>
	Jenis irigasi sawah			
	Setengah teknis			255
	Sederhana			225
	Tadah hujan			100
	Kisaran harga sawah			
	> 50 m			255
	< 50 m			100
	Intensitas panen			
	2x padi/th			255
	1x padi/th			100
Faktor sosial	Produktivitas panen			
	>4.5 ton/ha			255
	<4.5 ton/ha			100
	Gambaran umum penguasaan tanah			
	Tanah hak UUPA			1
Faktor kelembagaan	HGU, HGB, Ijin lokasi,			0 (konstrain)
	Kawasan hutan			0 (konstrain)
	RTRW = Lahan basah			255

Kelebihan OWA lainnya adalah kemampuan mengintegrasikan dataset heterogen seperti kualitatif maupun kuantitatif kriteria menggunakan *expert knowledge*, fleksibilitas untuk memilih kriteria tertentu untuk wilayah studi berbeda atau masalah yang berbeda, fleksibilitas untuk mengubah tingkat kepentingan kriteria, dan kebebasan untuk mengembangkan berbagai model skenario untuk tingkat resiko (Gorsevski *et al.*, 2012).

Pada penelitian ini, skenario yang dipilih didasarkan pada tujuan perlindungan lahan sawah yaitu standar, protektif, dan permisif. Urutan bobot yang diberikan pada masing-masing kelas kesesuaian perlindungan tersaji pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Urutan bobot OWA pada skenario Permisif dan Protektif.

Urutan Bobot	Kebijakan		
	Standar	Protektif	Permisif
Weight 1	0,1111	0,0430	0,1
Weight 2	0,1111	0,0478	0,09
Weight 3	0,1111	0,0531	0,081
Weight 4	0,1111	0,0590	0,0729
Weight 5	0,1111	0,0656	0,0656
Weight 6	0,1111	0,0729	0,0590
Weight 7	0,1111	0,081	0,0531
Weight 8	0,1111	0,09	0,0478
Weight 9	0,1111	0,1	0,0430

HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor Penentu Alih Fungsi Sawah

Setelah melalui uji regresi logistik dari berbagai kombinasi jumlah dan jenis variabel tersebut, selanjutnya diperoleh persamaan yang paling baik. **Tabel 6** menunjukkan bahwa persamaan yang paling baik adalah persamaan pada kolom kombinasi Set 8 yang ditandai dengan nilai pseudo R-square paling tinggi mendekati nilai standar minimal yakni 0,2. Kombinasi pada kolom Set 1 hingga Set 7 adalah kombinasi yang memiliki nilai paling baik setingkat di bawah kolom Set 8 yang dapat ditampilkan. Dari hasil analisis regresi logistik juga diperoleh sawah prediksi tahun 2009.

Dengan menggunakan metode ROC, diperoleh hasil validasi hasil prediksi sebesar 0,928. Hasil ROC memberikan hasil optimal hasil

prediksi model. Hasil prediksi sawah tahun 2014 dapat dilihat pada **Gambar 4a**, dimana terlihat jelas bahwa ancaman alih fungsi sawah berdasarkan persamaan regresi logistik terbesar berada di sepanjang jalan utama dari arah Bogor hingga Kota Sukabumi. Wilayah ini merupakan jalur pertumbuhan ekonomi, jalur pariwisata, kawasan industri, dan pertumbuhan permukiman. Kolom Set 8 pada **Tabel 6** dapat disusun ulang menjadi **Persamaan 5**.

$$p' = 4,916 - 0,289X_1 - 0,462X_2 + 0,306X_3 - 1,023X_4 - 0,301X_5 - 0,415X_6 - 0,317X_7 \dots (5)$$

Persamaan tersebut menjelaskan seberapa besar peran variabel terhadap alih fungsi lahan sawah baik yang bersifat positif maupun negatif. Variabel yang paling lemah mempengaruhi alih fungsi sawah adalah penetapan kawasan lahan basah di RTRW dan jarak permukiman. Pengaruh RTRW kecil dikarenakan oleh kecilnya alih fungsi dan penetapan lahan basah yang luas. Sedangkan faktor yang paling berpengaruh dalam alih fungsi sawah adalah faktor penguasaan lahan disusul oleh faktor jarak terhadap jalan. Hal ini menunjukkan bahwa penguasaan lahan semakin kuat maka kemungkinan alih fungsi sawah semakin besar. Sedangkan besarnya alih fungsi sawah yang berdekatan dengan jalan utama menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi masih mendasar dan berfokus di sekitar jalan utama.

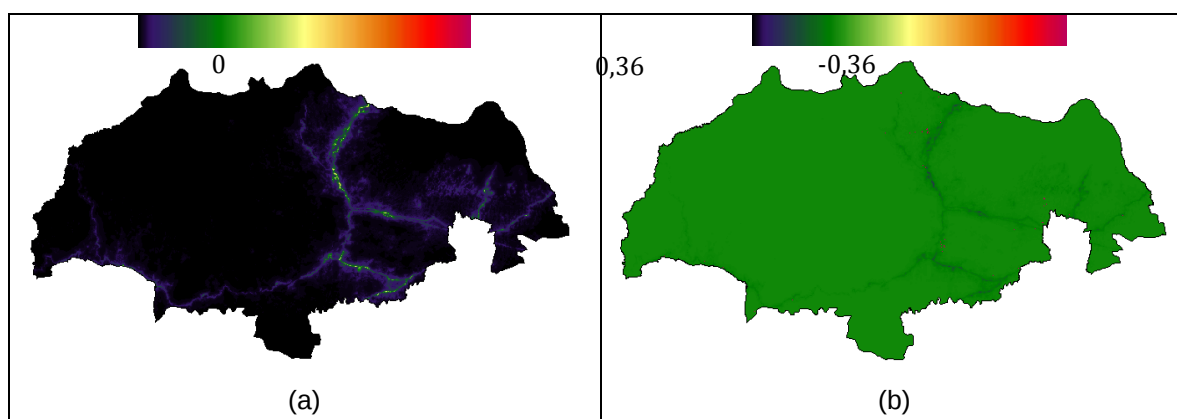
Gambar 4 menunjukkan hasil prediksi dan residual dari persamaan regresi logistik **Persamaan 5**. Prediksi terjadinya alih fungsi sawah terlihat dengan warna yang semakin merah dengan nilai mendekati 1. Alih fungsi diprediksi akan banyak terjadi di wilayah tengah memanjang ke utara-selatan Kabupaten Sukabumi. Wilayah utara merupakan kawasan industri yang berbatasan langsung dengan Kabupaten Bogor dan terhubung via jalan tol ke Ibukota Jakarta. Ancaman alih fungsi sawah juga berada di sekitar Kota Sukabumi ke arah barat maupun arah timur-utara.

Gambar 4b menunjukkan bagaimana hasil prediksi tersebut dibandingkan dengan data sawah tahun 2014. Warna merah mendekati nilai -1 menunjukkan bahwa wilayah-wilayah tersebut tidak mengalami alih fungsi di luar prediksi. Hal ini membuktikan bahwa akselerasi alih fungsi sawah di Kabupaten Sukabumi berjalan lambat.

Tabel 6. Hasil analisis regresi logistik dengan berbagai variabel.

No	Variabel / parameter	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5	Set 6	Set 7	Set 8
	Intercept	4,982	5,758	1,802	5,072	4,199	3,526	1,587	4,916
X ₁	lahan basah			-0,335	-0,225	-0,227	-0,213	-0,184	-0,289
X ₂	Jalan	-0,473	-0,389		-0,453	-0,450	-0,488	-0,406	-0,462
X ₃	Kesesuaian lahan	0,413	0,197	0,556		0,371	0,474	0,318	0,306
X ₄	penguasaan	-1,093	-1,290	0,633	-0,910		-0,368	-0,433	-1,023
X ₅	permukiman	-0,304	-0,525	-0,335	-0,311	-0,289		-0,314	-0,301
X ₆	perumahan	-0,424	-0,443	-0,322	-0,422	-0,420	-0,421		-0,415
X ₇	Industri	-0,328	-0,327	-0,531	-0,332	-0,323	-0,346	-0,392	-0,317
	Jumlah piksel	299067	29907	299067	299067	299067	299067	299067	299067
	Pseudo R-square	0,0897	0,0921	0,0664	0,0899	0,0901	0,0859	0,0710	0,0924
	AUC	0,7755	0,7681	0,7421	0,7789	0,7794	0,7788	0,7736	0,7808

Keterangan: Set (1-8) adalah kombinasi variabel X (1-7)



Gambar 4. Prediksi (a) dan residu (b) sawah tahun 2009 hasil regresi logistik, warna menunjukkan nilai piksel.

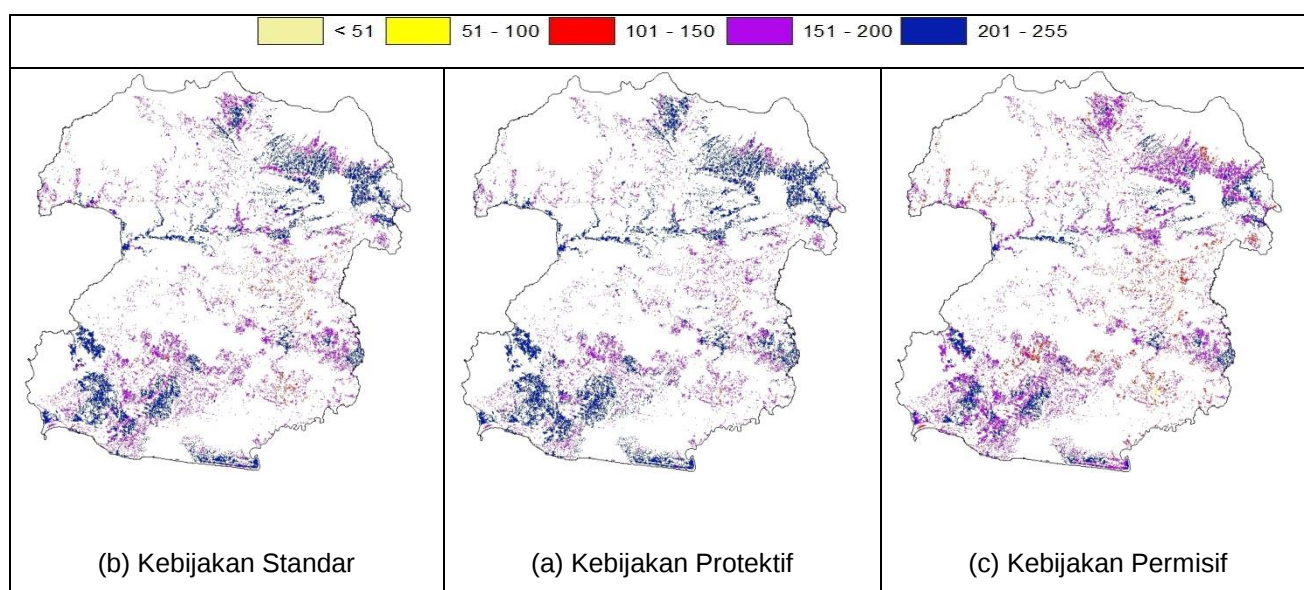
Penetapan Lahan Sawah Berkelanjutan

Secara umum dapat dikatakan bahwa alih fungsi sawah di Kabupaten Sukabumi masih dalam jumlah yang relatif kecil. Dengan menggunakan metode *overlay* GIS, dapat diperoleh jumlah alih fungsi sawah di Kabupaten Sukabumi sebesar 94,15 ha dalam periode 5 tahun. Dengan demikian, model perlindungan sawah ini memiliki fleksibilitas yang lebih besar dalam mengakomodasi kepentingan penggunaan lahan lain untuk pembangunan. Perlindungan lahan sawah dapat dibatasi pada wilayah-wilayah yang memiliki bobot perlindungan tinggi ataupun dapat diperluas ke bobot sedang. Bobot perlindungan sawah merupakan gabungan dari karakteristik alih fungsi sawah dengan potensi internal sawah.

Dari model perlindungan sawah tersebut dapat disusun tiga skenario kebijakan, yaitu kebijakan standar, kebijakan protektif, dan kebijakan permisif. Kebijakan standar merupakan hasil evaluasi multikriteria tanpa OWA, yang dapat langsung

dipergunakan dengan tingkat perlindungan standar. Kebijakan standar pada hakikatnya adalah upaya perlindungan yang besarnya sama dengan besar ancaman. Skenario protektif dipilih untuk melindungi hampir semua sawah yang ada, sedangkan skenario permisif memberikan keleluasaan bagi pemerintah untuk melakukan alih fungsi guna mendorong pembangunan wilayah.

Pada dasarnya, ketiga skenario kebijakan tersebut dapat disesuaikan berdasarkan perkembangan waktu dan kepentingan. Sebagai contoh, apabila skenario kebijakan permisif berhasil diterapkan dan pembangunan wilayah berjalan cepat, maka dalam tempo beberapa tahun dapat dievaluasi dan kemudian diterapkan skenario kebijakan protektif untuk melindungi sawah-sawah yang ada. Nilai yang diperoleh dari skenario standar, protektif, dan permisif selanjutnya diklasifikasi dengan kisaran 0-255 menjadi 5 kelas perlindungan sawah. Hasil klasifikasi dan perhitungan luasan masing-masing kelas dapat dilihat pada **Gambar 5** dan **Tabel 7**.



Gambar 5. Skenario kebijakan berbeda dalam upaya perlindungan lahan sawah.

Tabel 7. Luas masing-masing kelas perlindungan pada berbagai skenario.

Kelas	Kisaran Nilai	Luas setiap kebijakan (ha)		
		Standar	Protektif	Permisif
1	201-255	23571,94	31782,63	10945,88
2	151-200	23569,63	17259,19	30409,44
3	101-150	2366,69	473,88	8063,75
4	51-100	12,81	6,06	101,44
5	< 51	0,69	-	1,25
Jumlah		49521,75	49521,75	49521,75

Dengan metode-metode tersebut, sawah-sawah terbaik tetap terlindungi dengan luasan yang berbeda-beda. Apabila dilihat dari wilayah sawah yang menjadi prioritas perlindungan, maka sawah-sawah tersebut berada tidak jauh dari tengah memanjang utara-selatan dan sekitar Kota Sukabumi. Wilayah-wilayah ini dapat dikatakan sebagai penyangga/buffer bagi keberadaan sawah di belakangnya, baik di sebelah utara maupun selatan.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah menyajikan model penetapan lahan sawah berkelanjutan yang dibangun menggunakan regresi logistik dan evaluasi multikriteria dengan memperhatikan karakteristik alih fungsi sawah lokal dan konsep pembangunan berkelanjutan. Regresi logistik mampu mengungkap variabel-variabel kunci dalam alih fungsi sawah di suatu wilayah dengan cepat. Variabel penentu alih fungsi sawah di Kabupaten Sukabumi di antaranya jarak dari jalan, permukiman, dan industri.

Melalui evaluasi multikriteria dapat diperoleh sawah-sawah prioritas yang harus dilindungi dan sekaligus menjadi penyangga bagi sawah-sawah di belakangnya. Kebijakan perlindungan lahan sawah berkelanjutan selanjutnya dapat diterapkan melalui tiga skenario kebijakan, yaitu standar, protektif, dan permisif. Hal ini sekaligus memudahkan bagi pemerintah untuk memberikan subsidi secara tepat dan efisien serta tetap membuka peluang investasi pembangunan wilayah.

Model yang dibangun dalam penelitian ini melibatkan data spasial dan temporal yang mudah diperoleh untuk wilayah lain. Semakin lengkap dan akurat data pendukung, maka akan diperoleh hasil yang lebih optimal. Model disusun oleh tahapan-tahapan yang jelas sehingga sangat memungkinkan untuk diujicobakan pada wilayah lain dengan karakteristik berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Pemerintah Kabupaten Sukabumi yang telah memberikan bantuan baik data maupun selama survei lapangan. Juga diucapkan terima kasih kepada seluruh Pengelola Program Studi Ilmu Tanah IPB yang telah memberikan bimbingannya selama di laboratorium maupun pada waktu survei

lapangan. Tidak lupa juga, terima kasih kepada keluarga besar BPN-RI yang telah memberikan kesempatan dan bantuan sehingga penelitian dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Akinci, H., Ozalp, A.Y. & Turgut, B. (2013). Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. *Computers and Electronics in Agriculture*, 97,71–82.
- Arekhi, S. (2011). Modeling Spatial Pattern of Deforestation Using GIS and Logistic Regression: A Case Study of Northern Ilam Forests, Ilam Province, Iran. *African Journal of Biotechnology*, 10(72), 16236-16249.
- Arsanjani, J.J., Helbich, M., Kainz, W. & Bolorani, A.D. (2013). Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 265–275.
- Bottero, M., Comino, E., Duriavig, M., Ferretti, V. & Pomarico, S. (2013). The application of a Multicriteria Spatial Decision Support System (MCSDSS) for the assessment of biodiversity conservation in the Province of Varese (Italy). *Land Use Policy*, 30, 730-738.
- BPN. (2007). *ATLAS Neraca Penatagunaan Tanah Nasional*. Badan Pertanahan Nasional. Jakarta.
- BPS. (2012). *Jawa Barat Dalam Angka 2012*. Badan Pusat Statistik. Bandung.
- BPS. (2013). *Sensus Pertanian 2013. Momentum Menuju Swasembada Pangan Demi Masa Depan Petani dan Masyarakat yang Lebih Baik*. Diakses dari <http://sulteng.bps.go.id/index.php/berita-artikel/artikel/543-ab.html> [21 Februari 2014].
- Dewi, I.A. (2010). *Analisis Efektifitas Tata Ruang sebagai Instrumen Pengendali Perubahan Penggunaan Lahan Sawah menjadi Penggunaan Lahan Non Pertanian di Kabupaten Bekasi*. Tesis. Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Direktorat Jenderal Pengelolaan Lahan dan Air. (2008). *Perlindungan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan. Rapat Koordinasi Penataan Ruang Pusat dan Daerah*. 23-25 Juli 2008. Gorontalo.
- Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian. (2012). Kebijakan pengendalian alih fungsi lahan sawah melalui Implementasi UU No. 41 tahun 2009 & 4 Peraturan pemerintah turunannya. *Seminar: Koordinasi Kebijakan Pengelolaan dan Penyediaan Lahan dan Air*. 11 Oktober 2012. Bogor.
- Galudra, G., Sirait, M., Ramdhaniaty, N., Soenarto, F. dan Nurzaman, B. (2005). Sejarah Kebijakan Tata Ruang dan Penetapan Kawasan Taman Nasional Gunung Halimun-Salak. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 11(1), 1-13.
- Gorsevski, P.V., Donevska, K.R., Mitrovski, C.D. and Frizado, J.P. (2012). Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: A case study using ordered weighted average. *Waste Management*, 32, 287–296.
- Guo, Y.H. (2012). *Using Remote Sensing and GIS to Monitor and Predict Urban Growth—Case Study in Alachua County, Florida*. Disertassion. Graduate School of the University of Florida. Florida, United State of America.

- Hardjowigeno, S. & Widiatmaka. (2007). *Evaluasi Kesesuaian Lahan dan Perencanaan Tata guna Lahan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hu, Z. & Lo, C.P. (2007). Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31, 667–688.
- Isa, I. (2007). Konversi Tanah Sawah dan Ketahanan Pangan. *J. Agrimedia*, 12(2), 15-20.
- Irawan, B. & Priyatno, S. (2002). Dampak Konversi Lahan Sawah di Jawa Terhadap Produksi Beras dan Kebijakan Pengendaliannya. *Soca (Socio-Economic of Agriculture and Agribusiness)*, 2(12), 1-33.
- Kumar, R., Nandy, S., Agarwal, R. & Kushwaha, S.P.S. (2014). Forest cover dynamics analysis and prediction modeling using logistic regression model. *Ecological Indicators*, 45, 444–455.
- Rustiadi, E. & Wafda, R. (2008). *Urgensi Pengembangan Lahan Pertanian Pangan Abadi dalam Perspektif Ketahanan Pangan, dalam Arsyad Sinatala, Rustiadi Ernani. Penyelamatan Tanah Air dan Lingkungan*. Crestpen Press dan Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- Shiddiq, D. (2011). *Analisis Multikriteria Spasial dalam Penentuan Ketersediaan Lahan Sawah di Kabupaten Cianjur*. Tesis. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Siles, N.J.S. (2009). *Spatial Modelling and Prediction of Tropical Forest Conversion in the Isiboro Secure National Park and Indigenous Territory (TIPNIS), Bolivia*. Thesis. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation. Enschede, the Netherlands.
- Widiatmaka, Ambarwulan, W. & Munibah, K. (2013). Landuse Change During A Decade as Determined By Landsat Imagery of A Rice Production Region and Its Implication to Regional Contribution to Rice Self Sufficiency: Case Study of Karawang Regency, West Java, Indonesia. In: Pramono, G.H., Ramdani, D., Barus, B., Ariansyah, R.M. (2013). *Bridging Sustainable Asia. Proceeding of 34th. Asian Conference on Remote Sensing*. 20-24 Oct 2013, Bali.
- Widiatmaka, Ambarwulan, W., Tambunan, R.P., Nugroho, Y.A., Suprajaka, Nurwadjadi, & Santoso, P.B.K. (2014). Land use planning of paddy field using geographic information system and land evaluation in West Lombok, Indonesia. *Indonesian Journal of Geography*, 45 (1), 79 – 88.
- Widiatmaka, Ambarwulan, W., Riadi, B., Nahib, I., Budhiman, S. & Halim, A. (2014). Spatial Multi Criteria Land Evaluation and Remote Sensing for Area Delineation of Shrimp Pond Culture Revitalization in Mahakam Delta, Indonesia. *Proceeding of 12th Biennial Conference of Pan Ocean Remote Sensing Conference (PORSEC 2014)*, 04- 07 November 2014, Bali.