

MODEL SPASIAL DEFORESTASI DI KPHP POIGAR, PROVINSI SULAWESI UTARA

(Spatial modeling of deforestation in FMU of Poigar, North Sulawesi)

Afandi Ahmad^{1*}, Muhammad Buce Saleh² dan Teddy Rusolono²

¹Program Studi Ilmu Pengelolaan Hutan Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Indonesia
Kampus IPB Dramaga Bogor, Jl. Lingkar Akademik, Babakan, Bogor Tengah, Kode Pos 16128
Jawa Barat, Indonesia, Telepon (0251) 8621677

²Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor, Indonesia
Kampus IPB Dramaga Bogor, Jl. Lingkar Akademik, Babakan, Bogor Tengah, Kode Pos 16128
Jawa Barat, Indonesia, Telepon (0251) 8621677

*E-mail: afandiahmad46@gmail.com

Diterima 29 Desember 2015; revisi terakhir 25 Juli 2016; disetujui 26 Juli 2016

ABSTRAK

Hutan merupakan bagian dari ekosistem yang menyediakan jasa lingkungan bagi satu kesatuan ekosistem. Penurunan fungsi hutan dalam suatu ekosistem terjadi salah satunya karena deforestasi. Penelitian ini bertujuan membangun model spasial deforestasi di KPHP Poigar. Metode analisis deforestasi yaitu dengan analisis perubahan tutupan hutan menjadi tutupan bukan hutan dengan teknik *post classification comparison*. Analisis faktor penyebab deforestasi dilakukan dengan pembangunan model spasial deforestasi menggunakan model regresi logistik biner. Hasil penelitian menunjukkan bahwa luas penurunan tutupan hutan akibat deforestasi pada periode 2000 sampai 2013 yakni 12.668,2 hektare. Penyebab deforestasi di KPHP Poigar dipengaruhi oleh enam faktor yaitu jarak dari jalan, jarak dari pemukiman, jarak dari sungai, kepadatan penduduk, ketinggian tempat dan kemiringan lereng. Model regresi logistik dibangun menggunakan lima peubah penjelas yaitu jarak dari jalan, jarak dari sungai, kepadatan penduduk, ketinggian tempat dan kemiringan lereng. Kemampuan model dalam memprediksi deforestasi sebesar 58 % dari kejadian deforestasi aktual, sehingga model spasial deforestasi dapat menjadi salah satu sumber informasi untuk penyusunan arah pengelolaan KPHP Poigar kedepan.

Kata kunci: Deforestasi, model regresi logistik, pemodelan spasial, KPHP Poigar

ABSTRACT

Forest is a part of the ecosystem that provides environmental services. Deforestation may decrease forest function in an ecosystem. This study aims to build a spatial model of deforestation in a forest management unit (FMU) of Poigar. Deforestation analysis carried out by analyze the change of forest cover into non-forest cover with *post classification comparison* technique. Driving forces of deforestation carried out by spatial modeling using binary logistic regression models (LRM). Result of logistic regression model was used to predict the deforestation in 2013 and compare the prediction result with actual deforestation. The result showed that forest loss from the 2000 to 2013 period amounted 12,668.2 hectares. Deforestation in FMU of Poigar influenced by six factors there are distance from the road, distance from the settlement, distance from the river, population density, elevation and slope. Logistic regression model was built using five explanatory variables that are the distance from the road, distance from the river, population density, elevation and slope. Population density and accessibility is the most influenced factor caused deforestation in FMU of Poigar. Prediction of deforestation could predict about 58 % of actual deforestation spatially, so spatial models of deforestation could be an information to guidance on future management of FMU of Poigar.

Keywords: Deforestation, logistic regression model, spatial modeling, FMU of Poigar

I. PENDAHULUAN

Penurunan fungsi hutan menjadi ancaman bagi sebuah ekosistem. Salah satu penyebab menurunnya fungsi hutan adalah deforestasi. Menurut Turner *et al.* (2007) deforestasi merupakan kegiatan perubahan tutupan hutan menjadi bukan hutan yang berdampak pada

penurunan fungsi ekosistem hutan. Restrepo *et al.* (2015) menyatakan bahwa deforestasi meningkatkan sedimentasi dan erosi pada daerah aliran sungai Magdalena, Kolumbia. Deforestasi di Indonesia telah menjadi masalah nasional karena berdampak terhadap kondisi perekonomian nasional, kesejahteraan

masyarakat dan ancaman keanekaragaman hayati yang terdapat dalam hutan (Nawir dan Rumboko, 2008).

Deforestasi terjadi karena adanya dua faktor, yaitu faktor alami berupa perubahan iklim atau bencana alam atau adanya faktor aktivitas/gangguan manusia (antropogenik). Deforestasi yang terjadi akibat peristiwa alam dapat berupa kejadian cuaca ekstrim, kekeringan dan atau kebakaran hutan (Eckert *et al.*, 2011). Aktivitas manusia menjadi penyebab yang paling berkontribusi terhadap terjadinya deforestasi dan dapat berkaitan langsung dengan aktor atau pelakunya (Geist dan Lambin, 2002).

Kajian deforestasi penting dilakukan untuk mengetahui perubahan tutupan hutan pada suatu unit areal dan menganalisis faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya deforestasi (Turner *et al.*, 2007). Pemahaman mengenai deforestasi dan faktor-faktor penyebabnya dapat membantu dalam perencanaan bentuk pengelolaan hutan untuk mewujudkan pengelolaan hutan yang lestari (Panta *et al.*, 2008). Salah satu kajian deforestasi adalah pemodelan spasial, yaitu pembangunan sebuah model deforestasi dengan peubah-peubah yang berkaitan dengan faktor-faktor penyebab terjadinya deforestasi. Beberapa teknik pemodelan yang telah digunakan dalam studi deforestasi antara lain model regresi logistik (Prasetyo *et al.*, 2009; Kumar *et al.*, 2014), *cellular automata* (Entwisle *et al.*, 2008) dan *ordinary least square regression* (Romijn *et al.*, 2013).

Undang-undang 41 tahun 1999 mengamankan terwujudnya pengelolaan hutan di tingkat tapak. Sebagai perwujudan amanat UU 41 tahun 1999 tersebut, Pemerintah Republik Indonesia menerbitkan Peraturan Pemerintah nomor PP 6/2007 untuk membentuk Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH). KPH menjadi lembaga pengelola kawasan hutan di tingkat tapak untuk meningkatkan pembangunan kehutanan melalui pengelolaan yang intensif dan memantapkan kawasan hutan (Kartodihardjo *et al.*, 2011). Kesatuan Pengelolaan Hutan Produksi (KPHP) Poigar adalah salah satu KPH model yang dibentuk di Provinsi Sulawesi Utara melalui surat keputusan Menteri Kehutanan nomor SK. 788/Menhut-II/2009 tanggal 7 Desember 2009 dalam bentuk lembaga Unit Pengelolaan Teknis Daerah (UPTD) di bawah pemerintah Provinsi Sulawesi Utara. Kawasan hutan yang menjadi unit kelola KPHP Poigar terdiri atas kawasan

hutan lindung, hutan produksi terbatas dan hutan produksi. Kondisi *open access* kawasan hutan di KPHP Poigar sangat tinggi sehingga memungkinkan terjadinya deforestasi. Sehingga kajian deforestasi dilakukan untuk mengetahui tingkat deforestasi dan faktor-faktor pendorong terjadinya deforestasi di KPHP Poigar.

Tujuan utama penelitian ini adalah membangun model spasial deforestasi di kawasan hutan KPHP Poigar. Untuk memenuhi tujuan utama tersebut maka terdapat beberapa tujuan khusus yaitu; (1) Menganalisis deforestasi di KPHP Poigar selama periode 2000-2013, (2) Membangun model spasial deforestasi di areal KPHP Poigar, (3) Menganalisis faktor-faktor pendorong terjadinya deforestasi di KPHP Poigar.

II. METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan dalam dua tahapan penelitian, pertama pengamatan jenis tutupan lahan di kawasan KPHP Poigar, Provinsi Sulawesi Utara pada bulan Maret sampai April 2015. Tahap kedua yaitu analisis deforestasi dan pembangunan model spasial dilakukan di Laboratorium Fisik Remote Sensing dan SIG Fakultas Kehutanan IPB pada bulan Mei sampai Agustus 2015.

B. Data dan Alat Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian berupa citra digital hasil rekaman satelit Landsat yang digunakan yakni citra Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 OLI serta citra DEM untuk data lereng, batas areal KPHP Poigar, data jaringan jalan, data jaringan sungai, data batas administrasi dan data statistik kependudukan Kabupaten Minahasa Selatan dan Bolaang Mongondow (Tabel 1).

Alat yang digunakan dalam penelitian terdiri atas peralatan untuk survey lapangan berupa GPS receiver, kamera, tallysheet. Sedangkan perangkat analisis dan pengolahan citra digital yakni perangkat lunak ERDAS Imagine 9.1, ArcGIS 9.3, IDRISI Selva versi 17 dan perangkat lunak *spreadsheet*.

C. Analisis Data

1. Pengolahan Citra Digital dan Deteksi Deforestasi

Analisis citra digital Landsat dilakukan untuk analisis deforestasi yang terjadi pada tahun 2000, 2007 dan 2013. Klasifikasi tutupan lahan untuk analisis deforestasi yang

digunakan adalah klasifikasi visual (*on screen digitation*). Hasil klasifikasi terdiri atas dua kelas tutupan lahan, yaitu tutupan hutan dan tidak berhutan sesuai definisi FAO (2000) yaitu konversi tutupan hutan menjadi penggunaan lahan selain hutan secara permanen.

Analisis deforestasi dengan metode deteksi perubahan yaitu dengan teknik *post*

classification comparison, yaitu melakukan klasifikasi tutupan berupa hutan dan bukan hutan pada masing-masing citra tahun 2000 dan 2007. Hasil deteksi deforestasi akan menghasilkan data deforestasi dengan nilai biner 0 (tidak terjadi deforestasi) dan nilai 1 (terjadi deforestasi) yang akan digunakan sebagai variabel terikat pada model regresi logistik.

Tabel 1. Jenis data yang digunakan dalam penelitian
Table 1. Type of data used in research

Jenis Data (Type of data)	Sumber (Source)
Citra Landsat ETM+ tahun 2000	Portal Earth Explorer http://earthexplorer.usgs.gov/
Citra Landsat ETM+ tahun 2007 rekaman Mei 2007	
Citra Landsat ETM+ tahun 2007 rekaman Oktober 2007	
Citra Landsat OLI tahun 2013	
Digital Elevation Model (DEM)	Peta Batas Kawasan KPHP Poigar berdasarkan SK. 788/Menhut-II/2009
Layer batas areal KPHP Poigar	
Layer jaringan jalan	Badan Informasi Geospasial Peta Rupa Bumi Indonesia Skala 1:50 000
Layer jaringan sungai	
Data penduduk	Data Survey Potensi Desa (PODES) tahun 2003
Data spasial desa Kabupaten Minahasa dan Bolaang Mongondow	
Data Kependudukan Kabupaten Minahasa dan Minahasa Selatan	
Data Kependudukan Kabupaten Bolaang Mongondow	
	Kecamatan Dalam Angka Kabupaten Minahasa dan Minahasa Selatan tahun 2000, 2007 dan 2013
	Kecamatan Dalam Angka Kabupaten Bolaang Mongondow tahun 2000, 2007 dan 2013

2. Model Spasial Deforestasi

Model spasial untuk mengetahui faktor-faktor penyebab deforestasi menggunakan model regresi logistik dengan variabel tidak bebas berupa nilai biner (0 = tidak terjadi deforestasi dan 1 = terjadi deforestasi) yang merupakan hasil analisis deforestasi periode 2000 sampai 2007.

Tahap pertama pembangunan model spasial yaitu analisis derajat keeratan hubungan peubah penjelas dengan variabel terikat dilakukan dengan uji *Cramer's V* (Eastman, 2012; Kumar et al., 2014). Hasil uji derajat keeratan hubungan antara peubah penjelas dan terikat menghasilkan nilai *Cramer's V* yang berkisar antara 0 sampai 1 dan *p value*. Peubah penjelas dikatakan berpengaruh signifikan apabila nilai *p value* sebesar 0.00 (Eastman, 2012).

Pembangunan model spasial melibatkan lebih dari satu peubah penjelas. Menard (2002) menyatakan bahwa perlu dilakukan uji multikolinieritas untuk melihat hubungan linier yang terjadi antar peubah penjelas. Pengujian multikolinieritas dilihat berdasarkan koefisien korelasi antar peubah penjelas. Nilai koefisien korelasi lebih besar dari 0,65 menunjukkan adanya multikolinieritas antar peubah (Aguayo et al.,

2007). Persamaan regresi logistik yang menggambarkan variabel terikat dengan peubah penjelas adalah sebagai berikut (Menard, 2002):

$$p = E(Y) = \frac{\exp(\beta + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6)}{1 + \exp(\beta + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6)} \quad (1)$$

Persamaan 1 kemudian ditransformasi sebagai berikut:

$$\text{logit}(p) = \log_e \left(\frac{p}{1-p} \right) \quad (2)$$

Hasil transformasi Persamaan 2 menjadi:

$$\text{logit}(p) = \beta + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 \quad (3)$$

Regresi logistik dijalankan menggunakan modul LOGISTICREG dengan perangkat lunak IDRISI versi 17. Metode yang digunakan untuk membangun model menggunakan modul LOGISTICREG yaitu dengan metode *stepwise*. Tahap pertama pembangunan model menggunakan satu variabel. Tahap berikutnya menggunakan dua variabel hingga tahap akhir (tahap ke-6) menggunakan enam variabel yang diproses secara bersamaan. Parameter statistik hasil model menggunakan LOGISTICREG antara lain:

- a. $-2\log L_0$: model regresi logistik dengan hanya menggunakan nilai konstanta tanpa peubah penjelas
- b. $-2\log L(\text{likelihood})$: model regresi logistik yang menggunakan nilai konstanta dan peubah penjelas

Ayalew dan Yamagishi (2005); Eastman (2012) menyatakan bahwa pemilihan model terbaik dapat dilihat berdasarkan nilai *model chi-square* yang merupakan nilai selisih antara $-2\log\text{Likelihood}$ dengan nilai $-2\log L_0$, nilai

goodness of fit terkecil, *pseudo R²* lebih besar dari 0.2 dan nilai *ROC (Relative Operating Characteristic)*.

Model spasial dijalankan menggunakan enam peubah penjelas (Tabel 2). Selanjutnya peubah penjelas tahun 2007 digunakan untuk prediksi deforestasi periode 2007 sampai 2013. Hasil prediksi deforestasi dibandingkan dengan deforestasi aktual periode 2007 sampai 2013 dan dianalisis tingkat akurasi hasil prediksi model deforestasi.

Tabel 2. Analisis peubah penjelas model spasial deforestasi

Table 2. Analysis of explanatory variables

Peubah Penjelas (Explanatory variables)	Analisis (Analysis)	Satuan (Unit)
X ₁ = jarak dari jalan	Euclidean distance	kilometer (Km)
X ₂ = jarak dari pemukiman	Euclidean distance	kilometer (Km)
X ₃ = jarak dari sungai	Euclidean distance	kilometer (Km)
X ₄ = kepadatan penduduk	Grid map 30 m	jiwa/km ²
X ₅ = ketinggian tempat	Grid map 30 m	mdpl
X ₆ = kemiringan lereng	Grid map 30 m	persen (%)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Deforestasi di KPHP Poigar

Hasil analisis tutupan lahan menunjukkan terdapat enam tutupan lahan yang berada di kawasan KPHP Poigar (Gambar 1).

Hasil klasifikasi tutupan lahan kemudian dikelaskan kembali menjadi dua kelas yang terdiri atas kelas hutan dan bukan hutan untuk menganalisis kejadian deforestasi pada periode 2000 sampai 2007. Hasil analisis perubahan tutupan lahan di kawasan KPHP Poigar menunjukkan bahwa pada periode 2000 sampai 2007 telah terjadi penurunan luas tutupan hutan sebesar 5.156,5 hektare (12%). Selain itu, penurunan luas tutupan berupa belukar sebesar 2.776,6 hektare (6,7%) sehingga total penurunan areal hutan yakni sebesar 7.933,05 hektare (19%). Persentase deforestasi yang terjadi di kawasan KPHP Poigar sebesar 19 persen (7,933 ha) pada periode 2000-2007 lebih besar dibandingkan dengan deforestasi yang terjadi di kawasan KPH Malinau, yakni sebesar 1,44 persen pada periode 2000 sampai 2005 (Navratil 2013). Periode kedua dalam analisis deforestasi yaitu periode 2007 sampai 2013 menunjukkan penurunan luas areal yang terdeforestasi yakni sebesar 11 persen (4.735 ha) sehingga total penurunan luas tutupan hutan selama tahun 2000 sampai 2013 yakni sebesar 12.668,2 hektare. Penurunan luas deforestasi disebabkan oleh semakin berkurangnya luas

areal hutan karena telah hilang pada periode sebelumnya.

B. Model Spasial Deforestasi di KPHP Poigar

Model regresi logistik disusun menggunakan enam peubah penjelas. Tahap awal penyusunan model regresi logistik adalah analisis derajat keeratan peubah penjelas terhadap kejadian deforestasi (Tabel 3) dan analisis korelasi linier antar peubah (Tabel 4). Pada Tabel 3 terlihat bahwa peubah penjelas kepadatan penduduk memiliki keeratan yang kuat dengan kejadian deforestasi dengan nilai *V* sebesar 0.674 sedangkan peubah penjelas yang memiliki keeratan yang kecil adalah ketinggian tempat.

Tahap selanjutnya adalah analisis korelasi antar peubah. Hasil analisis pada Tabel 4 menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang kuat antara peubah jarak dari jalan (X₁) dan jarak dari pemukiman (X₂) dengan koefisien korelasi sebesar 0,7. Hal ini sesuai dengan pengamatan di lokasi penelitian bahwa pembangunan pusat-pusat pemukiman di sekitar KPHP Poigar diikuti dengan pembangunan jaringan jalan. Selain itu, jaringan jalan dibangun sebagai akses masyarakat menuju areal perkebunan di sekitar kawasan KPHP Poigar.

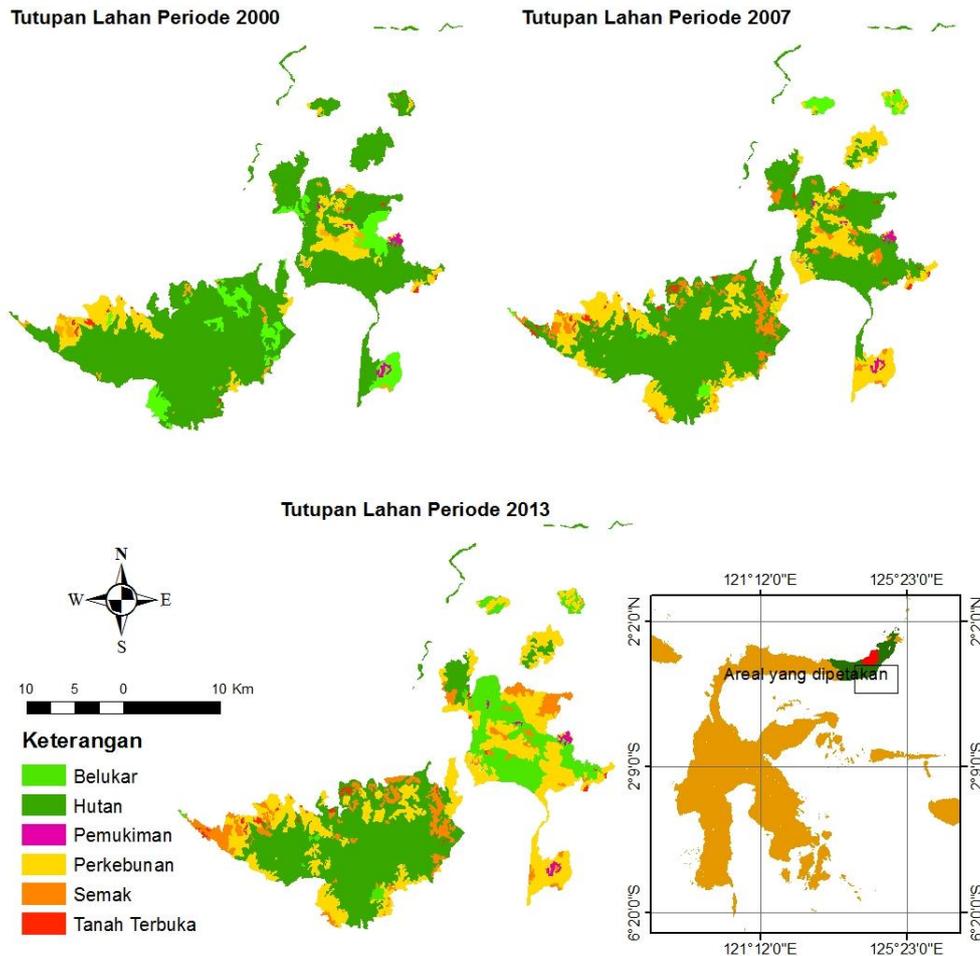


Figure 1. Land cover at FMU of Poigar during 2000, 2007 and 2013

Tabel 3. Hubungan antara peubah penjelas dengan kejadian deforestasi

Table 3. Association between explanatory variables and deforestation

Peubah penjelas (Explanatory variables)	Cramer's V	p value
Jarak dari jalan	0,598	0,000
Jarak dari pemukiman	0,585	0,000
Kepadatan penduduk	0,674	0,000
Jarak dari sungai	0,506	0,000
Kemiringan lereng	0,536	0,000
Ketinggian tempat	0,418	0,000

Tabel 4. Korelasi linier antar peubah penjelas

Table 4. Linier correlation between explanatory variables

Peubah Penjelas Explanatory Variables	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
X ₁	1					
X ₂	0,700	1				
X ₃	-0,081	-0,038	1			
X ₄	0,036	-0,094	0,085	1		
X ₅	0,245	0,038	0,005	-0,046	1	
X ₆	0,101	0,096	0,030	-0,052	0,037	1

Setelah analisis derajat keeratan hubungan dan korelasi antara peubah penjelas, tahapan selanjutnya adalah pembangunan model spasial deforestasi dengan regresi logistik biner. Hasil analisis regresi logistik biner dengan metode *stepwise* menghasilkan

enam persamaan yang masing-masing dibedakan oleh jumlah variabel yang digunakan dalam model spasial. Tabel 5 menyajikan parameter statistik masing-masing model yang dihasilkan melalui analisis regresi logistik biner.

Tabel 5. Parameter statistik model hasil regresi logistik biner
Table 5. Model statistic result of logistic binary regression

Statistik model (Model statistic)	Persamaan (Equation)					
	1	2	3	4	5	6
-2logL0	1107950,2	1107950,2	1107950,2	1107950,2	1107950,29	1107950,2
-2log(likelihood)	579293,41	579214,43	524186,40	524021,25	519911,16	517530,42
Pseudo R ²	0,477	0,477	0,526	0,527	0,53	0,53
Goodness of Fit	461630,62	461650,53	455116,83	453677,85	450317,92	445605,88
ChiSquare	528656,87	528735,85	583763,88	583929,03	588039,12	590419,86
ROC	0,90	0,90	0,95	0,95	0,95	0,95

Berdasarkan kriteria pemilihan model terbaik maka model terpilih yaitu persamaan menggunakan lima peubah penjelas. Meskipun persamaan 6 memiliki nilai *chi square* terbesar dan nilai *goodness of fit* terkecil namun model ini tidak dipilih karena terjadi multikolinieritas antar dua peubah penjelas. Berdasarkan

statistik model dengan lima peubah terlihat bahwa nilai *chi square* sebesar 588039,12 dan nilai *goodness of fit* sebesar 450317,92. Nilai ROC model juga tinggi yaitu 0,95. Persamaan regresi logistik untuk model spasial deforestasi adalah:

$$\text{logit}(p) = 0,6054 - 0,448363(x_1) - 0,231288(x_3) + 0,001692(x_4) - 0,000787(x_5) + 0,001038(x_6) \quad (4)$$

Nilai koefisien regresi selanjutnya dihitung nilai *odd ratio* untuk mendapatkan persentase peluang peningkatan atau penurunan peluang deforestasi (Tabel 6). Persentase peluang deforestasi menunjukkan kontribusi peubah penjelas terhadap peluang

deforestasi. Nilai koefisien regresi dikonversi menjadi nilai $\text{Exp } \beta$ (*odd ratio*) untuk memudahkan interpretasi pengaruh peubah penjelas terhadap kejadian deforestasi (Mahapatra dan Kant, 2005).

Tabel 6. Koefisien regresi dan nilai peluang deforestasi
Table 6. Coeffisien regression and the probability of deforestation

Peubah Penjelas (Explanatory Variable)	Koefisien β (Coefficient β)	Exp β (<i>odd ratio</i>)
Konstanta	0,6054	1,831985
Jarak dari jalan	-0,448363	0,638673
Jarak dari sungai	-0,231288	0,793511
Kepadatan penduduk	0,001692	1,001693
Ketinggian tempat	-0,000787	0,999213
Kemiringan lereng	0,001038	1,001039

Nilai koefisien regresi menunjukkan pengaruh peubah penjelas terhadap kejadian deforestasi di KPHP Poigar (*log odds*). Tanda positif dan negatif di depan koefisien regresi menunjukkan arah hubungan peubah penjelas. Tanda positif menunjukkan bahwa

peningkatan nilai peubah penjelas maka meningkatkan peluang deforestasi, sebaliknya tanda negatif menunjukkan bahwa peningkatan nilai peubah penjelas menyebabkan penurunan peluang deforestasi.

Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan kepadatan penduduk di sekitar kawasan KPHP Poigar akan meningkatkan peluang deforestasi sebesar 1,001693 kali dibanding dengan daerah yang tidak mengalami peningkatan kepadatan penduduk. Hal ini ditandai dengan nilai koefisien regresi (koefisien β) kepadatan penduduk bernilai positif ($\beta = 0,001692$). Kepadatan penduduk tertinggi pada tahun 2000 terdapat di Desa Mobuya, Kabupaten Bolaang Mongondow yakni sebesar 1.189,89 jiwa/km² (BPS, 2010). Faktor kepadatan penduduk menjadi faktor yang paling berpengaruh terhadap kejadian deforestasi di KPHP Poigar. Kepadatan penduduk erat kaitannya dengan aktivitas dan mata pencaharian masyarakat di sekitar kawasan hutan (Lorena dan Lambin, 2009; Müller *et al.*, 2011; Grecchi *et al.*, 2014). Masyarakat Kabupaten Bolaang Mongondow dan Minahasa Selatan sebagian besar berprofesi sebagai petani dan buruh tambang pasir dan batu. Masyarakat di Kabupaten Minahasa Selatan sebagian bekerja di sentra pembuatan rumah adat minahasa yang banyak tersebar di Desa Mokobang, Keroit dan Temboan. Kondisi ini memungkinkan besarnya tekanan terhadap kawasan hutan di KPHP Poigar kaitannya dengan bahan baku kayu untuk industri rumah adat. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa kepadatan penduduk suatu daerah akan meningkatkan peluang terjadinya deforestasi (DeFries *et al.*, 2010).

Faktor selanjutnya yang mempengaruhi deforestasi di KPHP Poigar adalah faktor ketinggian tempat. Lokasi yang berada di ketinggian rendah lebih mudah dijangkau sehingga rawan untuk dirambah. Hasil analisis model spasial menunjukkan koefisien regresi bertanda negatif dan nilai *odd ratio* ($\text{Exp } \beta$) peubah ketinggian tempat yaitu 0,999213. Faktor ketinggian tempat (elevasi) ditunjang dengan ketersediaan akses untuk menjangkau areal hutan. Hasil model juga menunjukkan bahwa peubah jaringan jalan menjadi faktor penting terkait kejadian deforestasi di KPHP Poigar. Beberapa lokasi ditemukan jaringan jalan utama yang berbatasan langsung dengan kawasan KPHP Poigar. Keberadaan jalan juga diikuti dengan pembangunan areal pemukiman warga sehingga hal ini semakin meningkatkan peluang deforestasi di kawasan KPHP Poigar. Hasil penelitian Kumar *et al.* (2014) juga menyatakan bahwa pembangunan

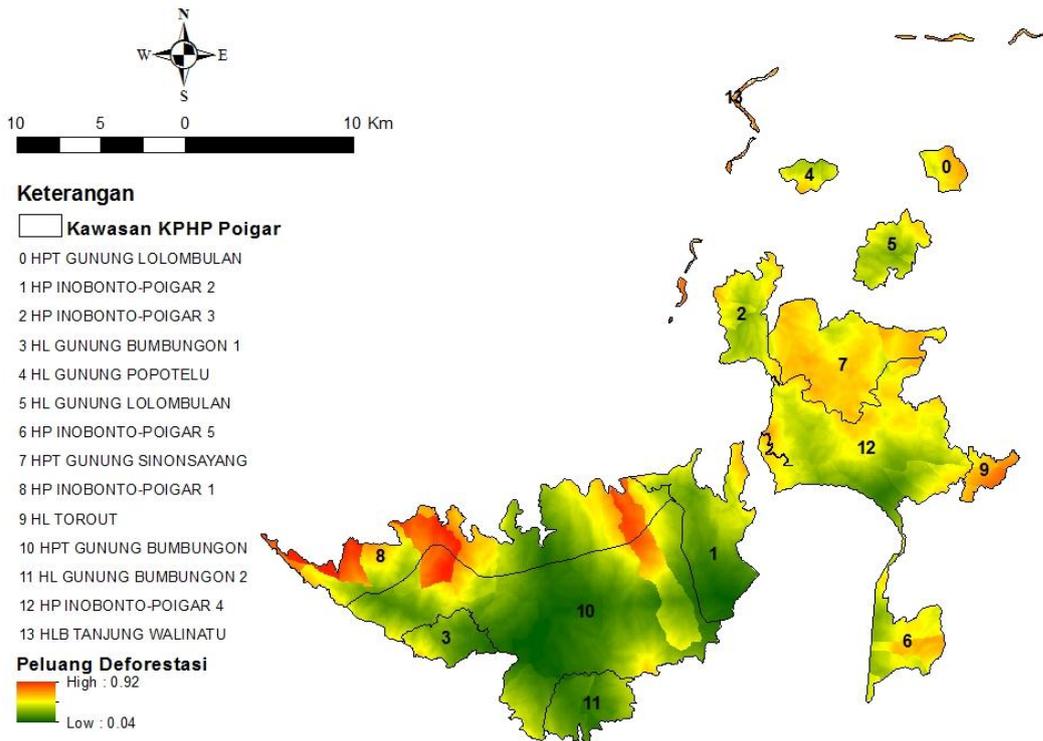
infrastruktur jaringan jalan meningkatkan peluang terjadinya deforestasi.

Temuan penting lain hasil analisis model spasial deforestasi di KPHP Poigar yakni faktor jaringan sungai. Hasil analisis menunjukkan bahwa peluang deforestasi akan meningkat sebesar 0,793511 kali pada areal yang dekat dengan jaringan sungai. Karakteristik lahan di KPHP Poigar yang berada dekat jaringan sungai relatif landai dibandingkan dengan yang berada jauh dari jaringan sungai. Selain itu, sekitar jaringan sungai juga ditemukan jalan setapak yang dapat menjadi akses di dalam kawasan hutan. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Wyman dan Stein (2010) yang dilakukan di Guatemala menunjukkan bahwa jaringan sungai berpengaruh terhadap kejadian deforestasi.

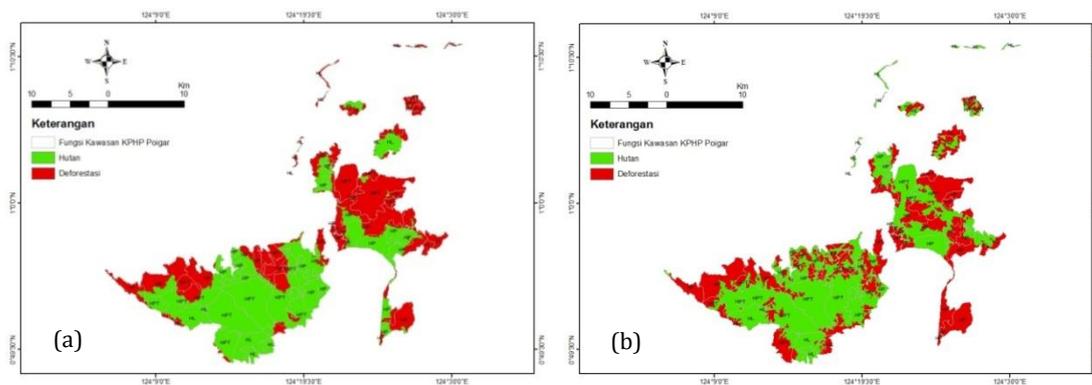
Model spasial deforestasi yang dihasilkan dari regresi logistik menunjukkan nilai ROC yang baik yaitu 0,95 dan hasil ini baik digunakan untuk prediksi deforestasi. Hasil prediksi deforestasi periode 2000-2013 menunjukkan sebaran peluang deforestasi antara 0,04-0,92 (Gambar 2). Hasil tersebut menunjukkan bahwa peluang deforestasi banyak terdapat pada kawasan dengan fungsi hutan produksi (HP) dan hutan produksi terbatas (HPT). Sementara itu fungsi hutan lindung (HL) yang memiliki peluang besar terdeforestasi terdapat pada areal yang terpisah (*fragmented*) atau tidak berada pada satu kesatuan areal yang luas. Jaringan jalan yang terdapat di sekitar kawasan KPHP Poigar semakin meningkatkan peluang terjadinya deforestasi.

Hasil peta sebaran peluang deforestasi pada Gambar 2 selanjutnya disusun menjadi peta prediksi deforestasi. Sesuai dengan luaran model regresi logistik yaitu ambang batas (*threshold*) peluang deforestasi sebesar 0,43 maka dapat dinyatakan bahwa nilai peluang $0 < P < 0,43$ adalah areal yang tidak terdeforestasi dan nilai peluang $0,43 < P < 1$ adalah areal yang terdeforestasi (Gambar 3).

Hasil prediksi deforestasi menunjukkan bahwa luas areal bukan hutan akibat deforestasi lebih kecil dibandingkan luas areal bukan hutan hasil interpretasi citra digital yakni dengan selisih sekitar 6.000 hektare (Tabel 7). Luas total hasil prediksi deforestasi dipengaruhi oleh nilai ambang batas (*threshold*) yang digunakan untuk pemisahan antara areal terdeforestasi dan areal yang masih berupa hutan.



Gambar 2. Peluang deforestasi 2000 sampai 2013
Figure 2. Deforestation probability during 2000 to 2013



Gambar 3. Prediksi deforestasi (a) dan deforestasi aktual periode 2000-2013 (b)
Figure 3. Prediction of deforestation (a) and actual deforestation period 2000 to 2013 (b)

Tabel 7 Perbandingan luas hutan aktual dan hasil prediksi
Table 7. Forest cover during 2000, 2007 and 2013 (actual and prediction)

Kelas Tutupan Hutan (Forest cover)	Luas (Ha) (Area)			
	2000	2007	2013 (Aktual) 2013 (Actual)	2013 (Prediksi) 2013 (Predicted)
Hutan (Forest)	35.842,71	27.909,65	23.174,46	29.212,35
Non Hutan (Non forest)	5.755,89	13.688,95	18.424,14	12.386,25
Total (Total)	41.598,60	41.598,60	41.598,60	41.598,60

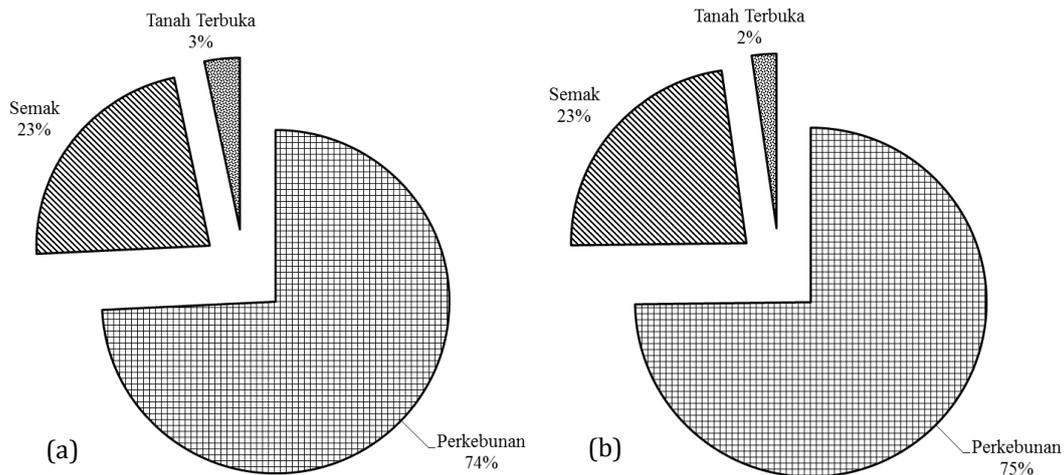
Analisis akurasi antara prediksi deforestasi dengan deforestasi aktual menunjukkan bahwa hasil prediksi deforestasi mampu menjelaskan 58 % dari deforestasi aktual. Secara sebaran spasial, hasil prediksi deforestasi di beberapa areal ditemukan pendugaan deforestasi yang *overestimate* dan di areal lain terjadi *underestimate*. Hal ini disebabkan oleh adanya faktor lain yang tidak masuk dalam pembangunan model spasial antara lain faktor mata pencaharian, kondisi ekonomi masyarakat, status kepemilikan lahan dan faktor fungsi kawasan hutan di KPHP Poigar.

Analisis penyebab deforestasi dengan pendekatan model spasial yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan tiga faktor penyebab deforestasi yaitu faktor aksesibilitas, faktor biofisik dan faktor sosial. Penyebab deforestasi di lokasi berbeda dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor lain selain yang digunakan dalam penelitian ini. Hal ini

disebabkan oleh karakteristik suatu lokasi yang tidak persis sama dengan kondisi di KPHP Poigar. Faktor penyebab deforestasi dapat berasal dari faktor ekonomi, politik dan kebijakan pengelolaan sumberdaya alam (Lambin dan Meyfroidt, 2011) serta faktor kepemilikan lahan (Gils dan Ugon, 2006). Penelitian ini tidak mengakomodir faktor-faktor tersebut dalam pembangunan model dan analisis faktor penyebab deforestasi karena keterbatasan ketersediaan data.

C. Arahan Pengelolaan KPHP Poigar

Deforestasi di kawasan KPHP Poigar sebagian besar terjadi akibat konversi hutan menjadi areal perkebunan monokultur dan semak. Hasil pengamatan lapangan ditemukan perkebunan dengan komoditi kelapa, cengkeh dan kakao. Selain itu, penurunan luas hutan juga disebabkan oleh penebangan liar yang menyebabkan tutupan hutan menjadi belukar (Gambar 4).



Gambar 4. Tutupan lahan yang menggantikan hutan periode 2000 – 2007 (a) dan 2007 – 2013 (b)
Figure 4. Land cover that replaced the forest during 2000– 2007 (a) and 2007–2013 (b)

Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa tutupan hutan pada periode 2000 sampai 2007 di KPHP Poigar mengalami perubahan menjadi areal perkebunan, semak dan tanah terbuka. Hasil pengamatan lapangan menunjukkan bahwa areal perkebunan didominasi oleh komoditi kelapa, kakao dan cengkih. Sementara tutupan berupa semak dan tanah terbuka terjadi pada areal yang belum digarap oleh masyarakat dan dapat juga berupa tempat pengumpulan kayu.

Perkebunan monokultur merupakan tipe perkebunan yang mendominasi di KPHP

Poigar. Kondisi ini memungkinkan untuk mewujudkan manajemen kolaboratif dengan masyarakat sekitar kawasan KPHP Poigar salah satunya dengan merubah areal perkebunan monokultur menjadi areal agroforestri. Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan fungsi ekosistem yang telah menurun akibat konversi tutupan hutan menjadi perkebunan. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah sumber pendapatan masyarakat sekitar kawasan KPHP Poigar dari produksi rumah adat minahasa. Peran KPHP Poigar sebagai unit pengelola hutan dengan

tujuan produksi dapat merancang pengelolaan kawasan hutan sehingga dapat menyediakan bahan baku untuk menunjang industri rumah adat minahasa yang berada di sekitar kawasan KPHP Poigar. Pengelolaan kawasan KPHP Poigar berbasis jasa lingkungan dapat dilakukan dengan desain kawasan ekowisata di dalam kawasan.

Arah kebijakan pembangunan KPHP Poigar yakni pembangunan hutan produksi lestari dengan pemberdayaan masyarakat sekitar kawasan KPHP Poigar (DEPHUT, 2007). Berdasarkan analisis deforestasi, opsi manajemen yang disarankan untuk diterapkan di kawasan KPHP Poigar adalah areal HTI (1 blok), HTR (2 blok), HKm (1 blok) dan H-mitra (4 blok) pada fungsi hutan produksi. Opsi manajemen lainnya yakni pengelolaan fungsi hutan lindung yaitu dengan melakukan rehabilitasi terhadap areal yang terdeforestasi. Selain itu, perlu dilakukan pengawasan dan pemantauan terhadap areal yang masih memiliki tutupan hutan yang baik khususnya hutan dengan fungsi lindung.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Tekanan areal hutan di KPHP Poigar sangat besar. Hal ini ditandai dengan angka deforestasi yang terjadi pada periode 2000 sampai 2013 yang cukup besar dan tersebar di seluruh kawasan KPHP Poigar. Penyebab deforestasi yang terjadi di KPHP Poigar meliputi lima faktor, meliputi jarak areal hutan dengan jaringan jalan dan sungai, pengaruh kemiringan lereng, ketinggian tempat dan terakhir adalah faktor tekanan penduduk yang bermukim disekitar kawasan KPHP Poigar. Pembangunan model spasial dengan pendekatan regresi logistik biner mampu memberikan hasil yang baik dan dapat digunakan untuk prediksi kejadian deforestasi dengan data peubah penjelas yang sifatnya dinamis. Opsi manajemen yang tepat untuk diterapkan di kawasan KPHP Poigar adalah areal HTI (1 blok), HTR (2 blok), HKm (1 blok) dan H-mitra (4 blok) pada fungsi hutan produksi. Selain itu pada kawasan hutan lindung yaitu dengan melakukan rehabilitasi terhadap areal yang terdeforestasi.

B. Saran

Sebaran spasial deforestasi dapat dijadikan salah satu instrumen untuk merumuskan pengelolaan kawasan khususnya upaya untuk mitigasi dan pengendalian

deforestasi. Selain itu, pengelolaan hutan perlu merumuskan pengelolaan kolaboratif dengan masyarakat sekitar kawasan KPHP Poigar. Opsi manajemen untuk pengelolaan hutan dengan tujuan produksi perlu disesuaikan dengan kondisi sosial ekonomi masyarakat sekitar agar tujuan pengelolaan hutan lestari dapat tercapai. Pengelolaan kolaboratif dapat berbentuk pola agroforestry untuk meningkatkan fungsi hutan pada areal perkebunan yang telah dibangun oleh masyarakat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah membiayai penelitian ini, Kepala Kesatuan Pengelolaan Hutan Produksi (KPHP) Poigar Provinsi Sulawesi Utara yang telah membantu dalam pengumpulan data di lapangan, rekan-rekan di Laboratorium Remote Sensing dan Sistem Informasi Geografis Fakultas Kehutanan IPB yang membantu dalam pengolahan data sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguayo, M. I., Wiegand, T., Azócar, G. D., Wiegand, K., & Vega, C. E. (2007). Revealing the driving forces of mid-cities urban growth patterns using spatial modeling: A case study of Los Angeles, Chile. *Ecology and Society*, 12(1).
- Ayalew, L., & Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65 (1-2), 15-31.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. (2010). *Penduduk Dan Rumah Tangga Provinsi Sulawesi Utara Hasil Sensus Penduduk Tahun 2010 Menurut Desa/Kelurahan*. Manado (ID): BPS.
- DeFries, R. S., Rudel, T., Uriarte, M., & Hansen, M. (2010). Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nature Geoscience*, 3(3), 178-181.
- [DEPHUT] Departemen Kehutanan. (2007). *Rancangan Pembangunan Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH) Model Poigar Di Wilayah Kabupaten Bolaang Mongondow dan Kabupaten Minahasa Selatan Provinsi Sulawesi Utara*. Manado (ID): DEPHUT.
- Eastman, J. R. (2012). *IDRISI Selva Tutorial*. Worcester: Clark University.

- Eckert, S., Ratsimba, H. R., Rakotondrasoa, L. O., Rajoelison, L. G., & Ehrensperger, A. (2011). Deforestation and forest degradation monitoring and assessment of biomass and carbon stock of lowland rainforest in the Analanjifofo region, Madagascar. *Forest Ecology and Management*, 262(11), 1996–2007.
- Entwisle, B., Rindfuss, R. R., Walsh, S. J., & Page, P. H. (2008). Population growth and its spatial distribution as factors in the deforestation of Nang Rong, Thailand. *Geoforum*, 39(2), 879–897.
- [FAO] Food And Agricultural Organization. (2000). *Forest resources assessment on definitions of forest and forest change*. Rome (IT): FAO.
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2002). Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience*, 52(2), 143–150.
- Gils, H. A. M. J. v., & Ugon, A. V. L. A. (2006). What drives conversion of tropical forest in Carrasco Province, Bolivia? *Ambio*, 35(2), 81–85.
- Grechi, R. C., Gwyn, Q. H. J., Bénié, G. B., Formaggio, A. R., & Fahl, F. C. (2014). Land use and land cover changes in the Brazilian Cerrado: A multidisciplinary approach to assess the impacts of agricultural expansion. *Applied Geography*, 55, 300–312.
- Kartodihardjo, H., Nugroho, B., & Putro, H. R. (2011). *Pembangunan Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH) Konsep, Peraturan Perundangan dan Implementasi*. Jakarta: Debut Wahana Sinergi.
- 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.
- Lambin, E. F., & Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 108(9), 3465–3472.
- Lorena, R. B., & Lambin, E. F. (2009). The spatial dynamics of deforestation and agent use in the Amazon. *Applied Geography*, 29(2), 171–181.
- Mahapatra, K., & Kant, S. (2005). Tropical deforestation: a multinomial logistic model and some country-specific policy prescriptions. *Forest Policy and Economics*, 7(1), 1–24.
- Menard, S. (2002). *Applied Logistic Regression Analysis (Quantitative Applications In The Social Sciences)*. California: Sage Publications.
- Müller, R., Müller, D., Schierhorn, F., Gerold, G., & Pacheco, P. (2011). Proximate causes of deforestation in the Bolivian lowlands: an analysis of spatial dynamics. *Regional Environmental Change*, 12(3), 445–459.
- Navratil, P. (2013). *Telaah Situasi Penutupan Lahan dan Perubahan Penutupan Lahan di Kabupaten Kapuas Hulu dan Malinau, Indonesia*. Jakarta: FORCLIME.
- Nawir, A. A., & Rumboko, L. (2008). Sejarah dan kondisi deforestasi dan degradasi lahan. In A. A. Nawir, Murniati, & L. Rumboko (Eds.), *Rehabilitasi hutan di Indonesia akan kemanakah arahnya setelah lebih dari tiga dasawarsa?* (pp. 13–32). Bogor: CIFOR.
- Panta, M., Kim, K., & Joshi, C. (2008). Temporal mapping of deforestation and forest degradation in Nepal: Applications to forest conservation. *Forest Ecology and Management*, 256(9), 1587–1595.
- Prasetyo, L. B., Kartodihardjo, H., Okarda, B., Adiwibowo, S., & Setiawan, Y. (2009). Spatial model approach on deforestation of Java Island, Indonesia. *Journal of Integrated Field Science*, 6, 37–44.
- Restrepo, J. D., Kettner, A. J., & Syvitski, J. P. M. (2015). Recent deforestation causes rapid increase in river sediment load in the Colombian Andes. *Anthropocene*, 10, 13–28.
- Romijn, E., Ainembabazi, J. H., Wijaya, A., Herold, M., Angelsen, A., Verchot, L., & Murdiyarso, D. (2013). Exploring different forest definitions and their impact on developing REDD+ reference emission levels: A case study for Indonesia. *Environmental Science & Policy*, 33, 246–259.
- Turner, B. L., Lambin, E. F., & Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(52), 20666–20671.
- Wyman, M. S., & Stein, T. V. (2010). Modeling social and land-use/land-cover change data to assess drivers of smallholder deforestation in Belize. *Applied Geography*, 30(3), 329–342.