

PEMODELAN SPASIAL PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN HUTAN PRODUKSI TERBATAS DI KECAMATAN KULAWI KABUPATEN SIGI PROVINSI SULAWESI TENGAH

(Spatial Modeling of Changes in Land Cover of Limited Production Forests in Kulawi Subdistrict Sigi Regency Central Sulawesi Province)

Muhammad Adam Suni, Hasriani Muis, Ida Arianingsih
Jurusan Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Tadulako
Kota Palu Sulawesi Tengah, 94118, Indonesia
E-mail: muhammadadamsuni@gmail.com

Diterima: 20 Desember 2022; Direvisi: 22 Mei 2023; Disetujui untuk Dipublikasikan: 31 Mei 2023

ABSTRAK

Deforestasi adalah salah satu penyebab utama kerusakan lingkungan dan dapat disebabkan faktor manusia serta dapat menyebabkan terjadinya perubahan iklim yaitu kekeringan berkepanjangan dan distribusi curah hujan yang tidak memadai tidak teratur dan tidak rata. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan dalam kurun waktu lima tahun dengan citra Landsat 8 tahun 2015 dan 2020 serta menganalisis faktor-faktor penyebab perubahan tutupan lahan pada Kawasan Hutan Produksi Terbatas di Kecamatan Kulawi. Penelitian menggunakan analisis citra terbimbing (*supervised*) dan analisis regresi logistik biner. Pembentukan model spasial perubahan tutupan hutan di Kawasan Hutan Produksi Terbatas Kecamatan Kulawi menggunakan 5 faktor peubah yang terdiri dari aspek aksesibilitas yaitu permukiman, kepadatan penduduk, sungai, kemiringan lereng, dan jalan. Logit Logit (p) = $-0,24179 + 0,03247 (x_1) + 0,01617 (x_2) - 0,43271 (x_3) - 0,31261 (x_4) + 0,03350 (x_5)$. Model yang dipilih adalah yang memiliki nilai *goodness of fit* dan nilai *chi square* terbesar. Hasil analisis regresi logistik biner menunjukkan nilai *goodness of fit* sebesar 5745198,85, nilai *chi square* sebesar 62749,78 dan *pseudo r2* sebesar 0,30 lebih besar dari 0,20 yang menandakan model layak digunakan. Berdasarkan hasil analisis regresi logistik biner diketahui bahwa jarak dari jalan, jarak dari permukiman, kepadatan penduduk berpengaruh terhadap perubahan tutupan lahan hutan dengan nilai positif dan jarak dari sungai, kemiringan lereng berpengaruh terhadap perubahan tutupan lahan hutan dengan nilai negatif.

Kata kunci: deforestasi, pemodelan spasial, perubahan tutupan lahan, regresi logistik

ABSTRACT

Deforestation is one of the main causes of environmental damage and can be caused by human factors and can cause climate change, namely prolonged drought and inadequate distribution of rainfall, irregular and uneven. This study aims to analyze changes in land cover over five years using Landsat 8 imageries from 2015 and 2020 as well as analyze the changing factors of the land cover in the Limited Production Forest Area in Kulawi Subdistrict. The study used supervised image analysis and binary logistics regression analysis. The spatial models of the forest cover changes in the Kulawi Subdistrict Limited Production Forest Area performed by using 5 modifier factors consists of accessibility aspects i.e., settlement, population density, river, slope, and road. Logit (p) = $-0,24179 + 0,03247 (x_1) + 0,01617 (x_2) - 0,43271 (x_3) - 0,31261 (x_4) + 0,03350 (x_5)$. Theselected model is the model with the greatest goodness of fit value and the chi-square value. The results of the binary logistic regression analysis showed a goodness of fit value of 5745198,85, chi-square values of 62749,78 and pseudo r2 of 0,30 greater than 0,20; those indicating that the model is suitable. Based on the results of the binary logistics regression analysis it is known that distance from roads, distance from settlement, population density were the factors that influence to changes in forest land cover with a positive value and distance from river, slope were the factors that influence to changes in forest land cover with a negative value.

Keywords: deforestation, spatial modeling, land cover change, logistic regression

PENDAHULUAN

Hutan merupakan sumber daya alam yang memberikan banyak manfaat bagi makhluk hidup, baik secara ekologis maupun ekonomis. Namun apabila hutan tidak dimanfaatkan dan dikelola

dengan baik dapat menyebabkan melemahnya fungsi hutan yang dapat menyebabkan deforestasi. Menurut FAO (2000) defortasi adalah aktivitas konversi hutan menjadi lahan penggunaan lain dengan tutupan kanopi kurang dari 10 persen. Lestari (2009) mendefinisikan alih fungsi lahan atau

konversi lahan adalah perubahan sebagian atau seluruh lahan dari tujuan penggunaan semula (direncanakan) menjadi tujuan lain yang berdampak negatif terhadap lingkungan dan potensi lahan itu sendiri.

Undang-Undang No. 27 Tahun 2008 tentang Pembentukan Kabupaten Sigi yang secara formal mekar dari Kabupaten Donggala Provinsi Sulawesi Tengah pada tahun 2008. Kabupaten Sigi terdiri dari 15 kecamatan. Kecamatan Kulawi terletak di bagian selatan Kabupaten Sigi, dengan jarak ±62 km dari ibukota kabupaten. Secara administratif Kecamatan Kulawi terdiri dari 16 desa (Badan Pusat Statistik Kabupaten Sigi, 2019).

Kondisi Kabupaten Sigi banyak mengalami pertumbuhan di berbagai sector, termasuk pertumbuhan penduduk. Hal ini tampak pada peningkatan jumlah penduduk pada tahun 2008 sebanyak 203.898 jiwa dan tahun 2016 sebanyak 229.472 jiwa. Jumlah penduduk tertinggi terdapat pada Kecamatan Sigi Biromaru sebanyak 45.736 jiwa (Bada Pusat Statistik Kabupaten Sigi, 2019).

Dampak pertumbuhan penduduk memengaruhi permintaan lahan, antara lain: pertanian, pemukiman, jasa dan transportasi yang mengarah pada transformasi fungsi lahan. Perubahan lahan juga dapat diartikan sebagai perubahan peruntukan lain yang disebabkan oleh faktor-faktor yang secara garis besar meliputi kebutuhan masyarakat yang semakin banyak dengan tuntutan yang semakin meningkat akan kualitas hidup yang lebih baik.

Konversi Kawasan hutan berarti perubahan fungsi pokok hutan menjadi kawasan bukan hutan seperti kawasan pemukiman, kawasan pertanian dan perkebunan. Masalah ini semakin parah dari waktu ke waktu ketika kawasan hutan mulai dikonversi menjadi Kawasan komersial lainnya (Widiyanto et al, 2003).

Deforestasi merupakan salah satu penyebab kerusakan lingkungan yang utama dan dapat disebabkan oleh faktor manusia serta mengakibatkan perubahan iklim, seperti kekeringan berkepanjangan dan distribusi curah hujan yang tidak memadai. Deforestasi disebabkan oleh dua faktor, yaitu faktor alam berupa perubahan iklim atau bencana alam, dan faktor aktivitas atau gangguan manusia (antropogenik). Deforestasi yang terjadi akibat peristiwa alam dapat berupa peristiwa cuaca ekstrim, kekeringan dan/atau kebakaran hutan (Eckert et al., 2011).

Tutupan lahan dan penggunaan lahan dalam beberapa kasus dapat memiliki nama yang sama (Van Noordwijk et al. 2008). Keadaan bebas akses kawasan hutan produksi terbatas di Kecamatan Kulawi sangat tinggi, yang tercermin dari dikeluarkannya pemberian izin pengelolaan dan pemanfaatan kawasan hutan pada lokasi tersebut dengan memperhatikan perubahan tutupan lahan dan penebangan. Oleh karena itu, penelitian ini sangat penting dilakukan untuk mengetahui

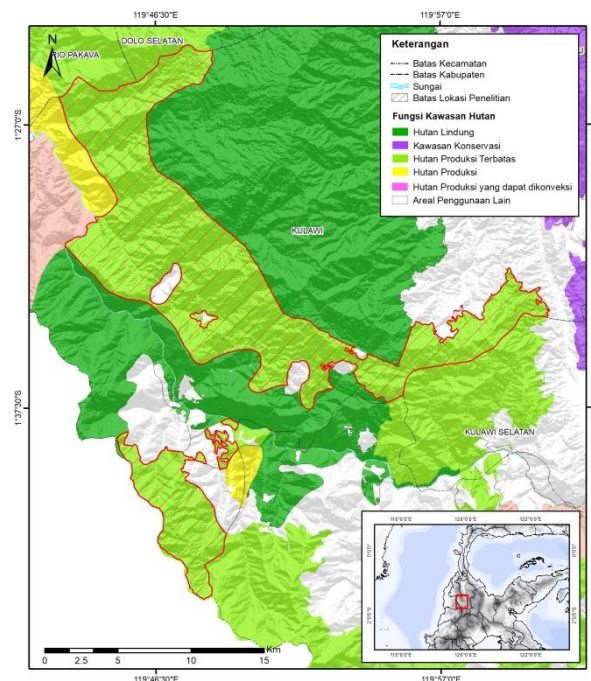
perubahan apa saja yang terjadi pada tutupan lahan, luasan deforestasi dan faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya deforestasi Kawasan hutan.

Berdasarkan dari permasalahan yang disampaikan di atas maka penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis perubahan tutupan lahan hutan produksi terbatas (HPT) selama rentang waktu lima tahun dengan citra Landsat 8 tahun 2015 dan tahun 2020; (2) membangun model untuk mengetahui faktor-faktor penyebab terjadinya deforestasi di kawasan hutan produksi terbatas (HPT) di Kecamatan Kulawi.

METODE

Lokasi penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan hutan produksi terbatas Kecamatan Kulawi Kabupaten Sigi Provinsi Sulawesi Tengah. Kecamatan Kulawi berada pada bagian barat wilayah Kabupaten Sigi, dengan jarak ±62 km dari ibukota kabupaten. Kulawi merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Sigi yang terletak pada koordinat 1°20'18" - 1°43'22" S Latitude dan 119°04'04"-120°07'53" Bujur Timur (**Gambar 1**).



Gambar 1. Lokasi kawasan hutan produksi terbatas (HPT) di Kecamatan Kulawi, Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah.

Kawasan hutan dijabarkan dalam Keputusan Menteri Kehutanan No. SK.869/Menhut-II/2014 tanggal 29 September 2014 tentang kawasan hutan dan konservasi perairan Provinsi Sulawesi Tengah, wilayah Kecamatan Kulawi terdiri dari 5 (lima) fungsi hutan yaitu Hutan Lindung, Hutan Produksi Terbatas, Hutan Produksi, Hutan Produksi yang dapat di Konversi, Kawasan Pelestarian dan Konservasi Alam. Lokasi Penelitian ini berada di

Kawasan Hutan Produksi Terbatas (HPT) Kecamatan Kulawi seluas ± 23.523,48 Ha.

Alat dan bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Kamera digunakan sebagai dokumentasi, Kompas sebagai penentu arah mata angin, GPS (*Global Positioning System*) digunakan untuk pengambilan titik, Laptop yang dilengkapi dengan program ArcGIS versi 10.7 dan Terrset 2020 digunakan untuk mengoperasikan dan mengolah peta dan data lapangan, program Microsoft Word 2010 untuk penulisan laporan penelitian.

Bahan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah Peta Kawasan Hutan dan Konservasi Perairan Provinsi Sulawesi Tengah skala 1:250.000 No. SK. 869 tahun 2014, Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:25.000 bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG), Citra Landsat 8 *Operational Land Imager/ Thermal Infrared Sensor* (OLI/TIRS) Path 114 dan Row 61 rekaman bulan September 2015 dan Citra Landsat 8 *Operational Land Imager/ Thermal Infrared Sensor* (OLI/TIRS) Path 114 dan Row 61 bulan rekaman September 2020 bersumber dari USGS.

Jenis dan Sumber Data

Jenis pengambilan data yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer meliputi, Citra Landsat 8 tahun 2015 dan Citra Landsat 8 tahun 2020, dan data yang diperoleh langsung dari survey lapangan. Survey lapangan dilakukan untuk pengecekan dan mengidentifikasi kelas tutupan lahan pada citra dan di lapangan sesuai dengan kriterianya dan pengambilan titik koordinat sebanyak 72 titik yang digunakan dalam uji akurasi agar tingkat ketelitian dan akurasi data yang dihasilkan lebih baik. Data sekunder adalah peta kawasan hutan produksi terbatas di Kecamatan Kulawi dan Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:50:000.

Analisis Data

Tutupan lahan

Analisis data dalam penelitian ini adalah analisis citra panduan. Klasifikasi citra Landsat menggunakan metode *Supervised Maximum Likelihood Classification* (MLC). *Maximum Likelihood Classification* adalah metode yang paling umum digunakan dalam klasifikasi data penginderaan jauh (Foody et al. 1992). MLC mempertimbangkan faktor peluang satu piksel untuk dinilai ke dalam kelas atau kategori tertentu. Peluang ini sering juga disebut probabilitas prior, dapat dihitung dengan menghitung persentase tutupan pada citra yang akan diklasifikasikan. Jika peluang ini tidak diketahui, besarnya peluang akan sama untuk semua kelas (satu per jumlah kelas yang akan

dibuat). Aturan keputusan tersebut disebut Decision Rule Bayes (Bayesian Decision Rule) (Jaya 2010).

Berdasarkan hasil klasifikasi terselia pada dua tahun yang berbeda, dilakukan uji akurasi untuk mendapatkan peta tutupan lahan tahun 2015 dan 2020. Proses tersebut dilangsungkan akibat adanya potensi kesalahan pada proses-proses sebelumnya yang kemudian dapat menggeser informasi yang ada menjadi kurang tepat. Tingkat akurasi pemetaan ditentukan dengan menggunakan uji akurasi klasifikasi mengacu pada Short (1982) dalam Purwadhi (2006) dengan **persamaan 1** sebagai berikut:

$$MA = (Xcr \text{ pixel}) / (Xcr \text{ pixel} + Xo \text{ pixel} + Xco \text{ pixel}) * 100\% \dots\dots\dots(1)$$

di mana:

- MA = ketelitian pemetaan
- Xcr = jumlah kelas X yang terkoreksi
- Xo = jumlah Kelas X yang masuk kelas lain
- Xco = jumlah kelas X tambahan dari kelas lain

Akhbar (2013) menjelaskan bahwa hasil akurasi 85% dianggap sangat memuaskan. Sementara Susanto menjelaskan kriteria hasil akurasi dalam peringkat sebagai berikut 80% (sangat baik) dan 60-70% (baik). Kesalahan omisi (*omission error*) yaitu kesalahan klasifikasi berupa kekurangan jumlah piksel suatu kelas akibat masuknya piksel-piksel kelas tersebut ke kelas yang lain. Sedangkan, kesalahan komisi (*commission error*) yaitu kesalahan klasifikasi berupa kelebihan jumlah piksel pada suatu kelas yang diakibatkan masuknya piksel dari kelas yang lain (**Tabel 1**).

Tabel 1. Perhitungan akurasi dengan metode *confusion matrix*.

		Data Acuan Lapangan		Total Kolom
		Kelas		
		1	2	
Data Hasil Klasifikasi	Kelas	1		Jumlah Titik
		2		
Total Baris				
Akurasi Keseluruhan	=	$\frac{\text{Jumlah Kelas Utama}}{\text{Jumlah Titik}}$		X 100%
Akurasi Produser	=	$\frac{\text{Kelas Utama}}{\text{Total Baris Objek}}$		X 100%
Akurasi Pengguna	=	$\frac{\text{Kelas Utama}}{\text{Total Kolom Objek}}$		X 100%

Peta Tutupan Lahan

Berdasarkan hasil klasifikasi citra terselia (*supervised*) dua waktu berbeda, selanjutnya dilakukan uji akurasi dan didapatkan peta tutupan lahan. Proses ini mengolah data hasil survey yang

didapatkan dengan teknik GIS. Uji akurasi dilangsungkan akibat adanya potensi kesalahan pada proses-proses sebelumnya yang kemudian dapat menggeser informasi yang ada menjadi kurang tepat. Proses yang dilakukan akan mengetahui klasifikasi/kriteria tutupan lahan tahun 2015 dan 2020 yang sesuai dengan hasil klasifikasi dan kenampakan dilapangan.

Kriteria Tutupan Lahan Kawasan Hutan Produksi Terbatas Kecamatan Kulawi

Tutupan lahan adalah vegetasi dan konstruksi artifisial yang menutup permukaan lahan (Lindgren, 1985). Tutupan lahan berkaitan dengan jenis kenampakan di permukaan bumi seperti bangunan, danau, vegetasi (Lillesand & Kiefer, 1994). Berdasarkan hasil *groundcheck* lapangan, tutupan kawasan hutan produksi terbatas diklasifikasikan menjadi 6 (enam) kriteria tutupan lahan yaitu, lahan terbuka, hutan lahan kering primer, hutan lahan kering sekunder, semak belukar dan ladang/perkebunan, dan tubuh air.

Hutan lahan kering primer adalah hutan yang tumbuh berkembang pada habitat lahan kering yang dapat berupa hutan daratan rendah, perbukitan dan pegunungan, atau hutan tropis dataran tinggi, yang masih kompak dan belum mengalami intervensi manusia atau belum menampakan bekas tebangan. Kenampakan hutan primer ditandai dengan adanya obyek yang berwarna hijau tua (pada band 543) cenderung gelap dan bertekstur kasar dengan tajuk-tajuk pohon yang kelihatan bergerombol. Tidak terdapat bekas tebangan. Pada citra, warna yang cenderung gelap karena posisi obyek yang berada pada tebing pegunungan tinggi sehingga cahaya matahari kurang (Badan Standarisasi Nasional, 2010).

Hutan lahan kering sekunder adalah hutan yang tumbuh berkembang pada habitat lahan kering yang dapat berupa hutan daratan rendah, perbukitan dan pegunungan, atau hutan tropis dataran tinggi, yang telah mengalami intervensi manusia atau telah menampakan bekas tebangan. Hutan lahan kering sekunder merupakan hutan yang tumbuh secara alami sesudah terjadinya kerusakan/perubahan pada tumbuhan hutan yang pertama. Hutan yang telah mengalami gangguan eksploitasi oleh manusia, biasanya ditandai dengan adanya jaringan jalan ataupun jaringan sistem eksploitasi lainnya. Kenampakan berhutan bekas tebas bakar yang ditinggalkan, bekas kebakaran atau yang tumbuh kembali dari bekas tanah terdegradasi juga dimasukkan dalam kelas ini (Badan Standarisasi Nasional, 2010).

Lahan terbuka tanpa vegetasi (singkapan batuan puncak gunung, puncak bersalju, kawah vulkan, gosong pasir, pasir pantai, endapan sungai), dan lahan terbuka bekas kebakaran. Kenampakan lahan terbuka untuk pertambangan dikelaskan pertambangan, sedangkan lahan terbuka bekas

pembersihan lahanland clearing dimasukkan kelas lahan terbuka. Lahan terbuka dalam kerangka rotasi tanam sawah/tambak tetap dikelaskan sawah/tambak. Kenampakan obyek (pada citra Landsat band 543) ditandai dengan areal berwarnamerah muda hingga merah tua, kadang berwarna coklat, tergantung pada kandungan material tanahnya, dan berwarna putih apabila material tersusun dari kapur. (Badan Standarisasi Nasional, 2010).

Semak belukar adalah hutan lahan kering yang telah tumbuh kembali (mengalami suksesi) namun belum/tidak optimal, atau lahan kering dengan liputan pohon jarang (alami) atau lahan kering dengan dominasi vegetasi rendah (alami). Kenampakan ini biasanya tidak menunjukkan lagi adanya bekas/bercak tebangan. Kenampakan obyek ditandai dengan adanya vegetasi rendah dan bertekstur halus sampai dengan agak kasar, berwarna hijau muda pada band 543 yang mengindikasikan adanya semak belukar dan terdapat bekas tebangan. Karena pada lahan kering, terdapat areal berwarna merah yang menandakan tanah terbuka atau pemukiman. (Badan Standarisasi Nasional, 2010).

Perkebunan adalah lahan bertumbuhan pohon-pohonan yang dibebani hak milik atau hak lainnya dengan penutupan tajuk didominasi pohon buah atau industri. Kenampakan perkebunan coklat ditandai dengan adanya obyek yang berwarna hijau sangat muda dengan bercak coklat muda kekuningan (pada band 543) cenderung terang dengan tekstur halus. Batas-batas yang jelas dan teratur menunjukkan bahwa obyek adalah perkebunan. (Badan Standarisasi Nasional, 2010). Tubuh air adalah perairan, termasuk laut, sungai, danau, waduk, dll. Kenampakan tambak, sawah dan rawa-rawa telah digolongkan tersendiri. Kenampakan obyek ditandai dengan adanya areal berwarna biru muda, biru keputihan atau hitam (pada kombinasi band 543) meliputi areal cukup luas. (Badan Standarisasi Nasional, 2010).

Perubahan Tutupan Lahan

Analisis perubahan tutupan lahan dilakukan dengan cara membandingkan citra hasil klasifikasi antar waktu dengan melakukan tumpang susun (*Overlay*) layer hasil klasifikasi tutupan/penggunaan lahan tahun 2015 dan 2020. Dari teknik tersebut dapat diperoleh peta perubahan penggunaan lahan. Cara ini dapat mengetahui jenis dan luas perubahan tutupan/penggunaan lahan yang terjadi. Hasil dari proses ini adalah data perubahan tutupan lahan beserta luasan tiap tiap tutupan lahan.

Faktor Pemicu Perubahan Tutupan Hutan

Faktor penyebab deforestasi yang tidak langsung disebut faktor pendorong (Rijal, 2016). Faktor pemicu deforestasi yang dimaksudkan dalam

penelitian ini adalah faktor-faktor yang tergolong sebagai faktor tidak langsung (*proximity causes*) (Affandi, 2016). Pembentukan model spasial perubahan tutupan hutan di Kawasan Hutan Produksi Terbatas Kecamatan Kulawi menggunakan 5 faktor peubah terdiri dari jarak dari jalan, jarak dari sungai, jarak dari pemukiman (aspek aksesibilitas), kemiringan lereng, (aspek biofisik) serta aspek sosial yaitu kepadatan penduduk.

Kepadatan Penduduk

Kepadatan penduduk dapat mempengaruhi kualitas hidup penduduknya. Pada daerah dengan kepadatan yang tinggi, usaha peningkatan kualitas penduduk akan lebih sulit dilakukan. Hal ini menimbulkan permasalahan sosial ekonomi, kesejahteraan, Keamanan, ketersediaan lahan, air bersih dan kebutuhan pangan. Dampak yang paling besar adalah kerusakan lingkungan (Christiani et al, 2014). Beberapa hasil penelitian terkait kepadatan penduduk terhadap deforestasi yaitu oleh Prasetyo et al. (2009) yang menyatakan bahwa faktor penduduk berpengaruh terhadap terjadinya deforestasi.

Jarak dari Jaringan Jalan

Jaringan jalan merupakan salah satu faktor aksesibilitas. Keberadaan jaringan jalan di sekitar atau di dalam kawasan hutan memberikan akses bagi masyarakat untuk merambah hutan. Hasil penelitian Kumar et al. (2014) menunjukkan bahwa faktor kedekatan areal hutan dari jaringan jalan berpengaruh terhadap deforestasi.

Jarak dari Jaringan Sungai

Jaringan sungai juga termasuk dalam faktor aksesibilitas. Jaringan sungai berfungsi sebagai sumber air. Wyman dan Stein (2010); Chein et al. (2000) menyatakan bahwa deforestasi dan degradasi hutan terjadi karena faktor kedekatan jarak area hutan dengan jaringan sungai.

Jarak dari Pemukiman

Salah satu faktor yang menjadi pendorong kejadian deforestasi adalah faktor yang dikategorikan sebagai faktor antropogenik atau akibat aktivitas manusia. Faktor jarak hutan dari pemukiman menjadi salah satu peubah penjelas yang digunakan dalam penelitian ini untuk pembangunan model spasial deforestasi.

Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng berkaitan dengan kondisi biofisik lahan. Areal hutan yang memiliki kemiringan lereng kemungkinan kecil untuk terdeforestasi. Hasil penelitian Kumar et al. (2014) menyatakan bahwa peluang deforestasi akan meningkat pada

areal yang relatif landai. Kondisi topografi pada wilayah HPT di Kecamatan Kulawi cukup bervariasi yang terdiri dari beberapa kelas lereng.

Pemodelan Spasial

Menurut Hosmer & Lemeshow (2000), regresi logistik adalah suatu metode yang dapat digunakan untuk mencari hubungan antara variabel respon yang bersifat *dichotomus* (skala nominal/ordinal dengan dua kategori) dengan satu atau lebih variabel prediktor berskala kategori atau kontinyu. Model regresi logistik terdiri dari regresi logistik dengan respon biner, ordinal, dan multinomial. Model spasial deforestasi dilakukan untuk mengetahui faktor-faktor penyebab deforestasi dengan menggunakan model regresi logistik.

Penelitian ini menggunakan variabel tidak bebas berupa nilai biner (0 = tidak terjadi perubahan tutupan hutan dan 1 = terjadi perubahan tutupan hutan) yang merupakan hasil analisis deforestasi berupa data raster sebaran kejadian deforestasi periode 2015 dan 2020.

Peubah penjelas berupa faktor-faktor penyebab perubahan tutupan hutan dianalisis menggunakan *euclidean distance* untuk variabel jarak dari jalan, pemukiman, dan sungai. Analisis *grid map* pada variable kepadatan penduduk didapatkan dari data vektor kemudian dikonversi menjadi data raster dengan ukuran piksel 30 m. Selanjutnya akan dilakukan pembangunan model spasial menggunakan regresi logistik. Regresi logistik biner adalah suatu metode analisis data yang digunakan untuk mencari hubungan antara variabel respon (y) yang bersifat biner (*dichotomus*) dengan variabel prediktor (x) yang bersifat kategorik atau kontinu.

Persamaan 2 regresi logistik yang menggambarkan variabel terikat dengan peubah penjelas (Menard, 2002).

$$p = E(Y) = \frac{\exp(\beta + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5)}{1 + \exp(\beta + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5)} \dots (2)$$

Nilai p merupakan peluang terjadinya deforestasi dimana $0 \leq p \leq 1$, $E(Y)$ adalah nilai harapan peubah Y , adalah konstanta dan adalah koefisien regresi **persamaan 3** kemudian ditransformasi sebagai berikut :

$$\text{logit}(p) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 \dots (3)$$

Regresi logistik menggunakan modul *logisticreg* pada perangkat lunak Terrset 2020. Metode yang digunakan untuk membangun model menggunakan modul *logisticreg* yaitu dengan metode *stepwise*. Tahap pertama pembangunan model menggunakan satu hingga lima variabel yang diproses secara bersamaan untuk membangun model regresi logistik biner. Parameter statistik hasil

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

Ayalew & Yamagishi (2005) dan Eastman (2012) menyatakan bahwa pemilihan model terbaik dapat dilihat berdasarkan nilai *model chi-square* yang merupakan selisih antara $-2\log L$ dengan nilai $-2\log L_0$, nilai *goodness of fit* terkecil, *pseudo R2* lebih besar dari 0,2 dan nilai *ROC (Relative Operating Characteristic)* semakin mendekati nilai 1 (nilai ROC antara 0 sampai 1) maka model tersebut dapat dikatakan baik. Berdasarkan dua parameter tersebut maka akan dihitung nilai *pseudo R2* yaitu dengan **persamaan 4** Model spasial dijalankan menggunakan lima peubah penjelas (**Tabel 2**). (Menard 2002):

$$\text{Pseudo } R^2 = 1 - (\log L / \log L_0) \dots\dots\dots (4)$$

Tabel 2. Analisis peubah penjelas model spasial.

Peubah Penjelas	Analisis	Satuan
X1	<i>Euclidean distance</i>	kilometer (Km)
X2	<i>Euclidean distance</i>	kilometer (Km)
X3	<i>Euclidean distance</i>	kilometer (Km)
X4	<i>Grid map 30 m</i>	persen (%)
X5	<i>Grid map 30 m</i>	jiwa/km ²

Sumber: Menard, 2002

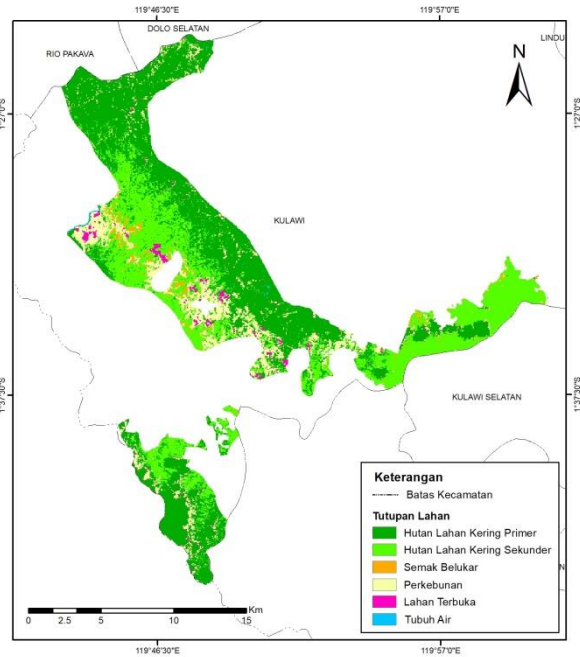
di mana :

- X1 = Jarak dari jalan
- X2 = Jarak dari pemukiman
- X3 = Jarak dari sungai
- X4 = Kemiringan lereng
- X5 = Kepadatan penduduk

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tutupan Lahan Kawasan Hutan Produksi Terbatas Kecamatan Kulawi Tahun 2015

Hasil klasifikasi dan luas tutupan lahan kawasan hutan produksi terbatas Kecamatan Kulawi tahun 2015 dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Tabel 4**. Pada **Tabel 4** menunjukkan jenis tutupan lahan paling luas adalah hutan lahan kering primer seluas 10.992,15 Ha. Luas tutupan lahan berupa hutan lahan kering sekunder adalah 7.956,99 Ha. Tutupan lahan berupa perkebunan adalah 2.588,13 Ha. Semak belukar adalah 1.668,74 Ha. Tutupan lahan terbuka adalah 229,86 Ha. Tutupan lahan berupa tubuh air adalah 17,64 Ha dari seluruh luas kawasan hutan produksi terbatas Kecamatan Kulawi.



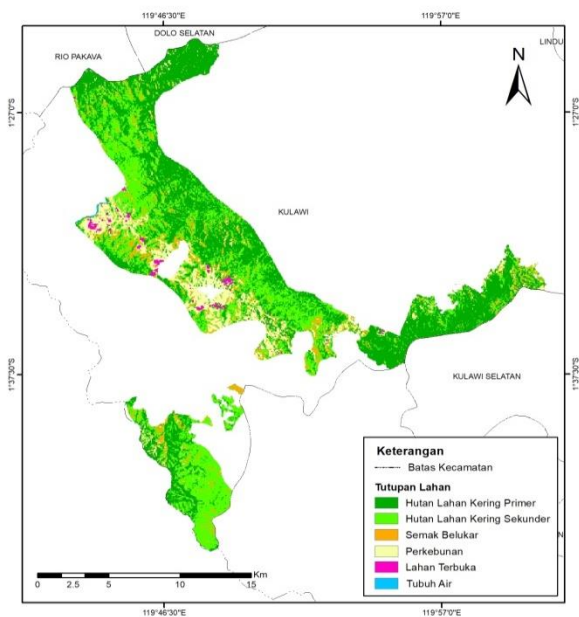
Gambar 2. Tutupan Lahan Hutan Produksi Terbatas (HPT) di Kecamatan Kulawi, Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah Tahun 2015.

Tabel 4. Klasifikasi tutupan lahan kawasan hutan produksi terbatas di Kecamatan Kulawi tahun 2015.

Klasifikasi Tutupan Lahan	Total (Ha)
Hutan Lahan Kering Primer	10.992,15
Hutan Lahan Kering Sekunder	7.956,99
Lahan Terbuka	229,86
Perkebunan/Ladang	2.588,13
Semak Belukar	1.668,74
Tubuh Air	17,64
Luas Total (Ha)	23.523,48

Tutupan Lahan Kawasan Hutan Produksi Terbatas Kecamatan Kulawi Tahun 2020

Hasil klasifikasi dan luas tutupan lahan kawasan hutan produksi terbatas Kecamatan Kulawi tahun 2020 dapat dilihat pada **Gambar 3** dan **Tabel 5**. Pada **Tabel 5** menunjukkan jenis tutupan lahan paling luas adalah hutan lahan kering primer seluas 9.711,32 Ha. Luas tutupan lahan berupa hutan lahan kering sekunder adalah 8.559,75 Ha. Tutupan lahan berupa perkebunan adalah 2.799,01 Ha. Semak belukar adalah 2.063,78 Ha. Tutupan lahan terbuka adalah 367,22 Ha. Tutupan lahan berupa tubuh air adalah 22,40 Ha dari seluruh luas kawasan hutan produksi terbatas Kecamatan Kulawi.



Gambar 3. Tutupan lahan hutan produksi terbatas (HPT) di Kecamatan Kulawi, Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah Tahun 2020.

Tabel 5. Klasifikasi tutupan lahan kawasan hutan produksi terbatas di Kecamatan Kulawi tahun 2020.

Klasifikasi Tutupan Lahan	Total (Ha)
Hutan Lahan Kering Primer	9.711,32
Hutan Lahan Kering Sekunder	8.559,75
Lahan Terbuka	367,22
Perkebunan/Ladang	2.799,01
Semak Belukar	2.063,78
Tubuh Air	22,40
Luas Total (Ha)	23.523,48

Ketelitian Pengolahan Citra Satelit

Uji akurasi hasil pengolahan citra diperlukan untuk menghasilkan informasi yang sesuai dengan kondisi yang seharusnya. Nilai yang dihitung merupakan nilai diagonal pertemuan masing masing data matriks yang kemudian dimasukkan kedalam rumusan perhitungan *overall accuracy* (OA). Nilai maksimal dari OA adalah 100%, dimana semakin mendekati nilai maskimalnya maka hasil klasifikasi yang dilakukan adalah semakin benar (Gu, Congalton, & Pan, 2015; Yanur & Resha, 2018).

Dari data **Tabel 3** dapat diketahui bahwa tingkat akurasi atau ketelitian hasil pengolahan citra satelit dengan metode klasifikasi terselia (*Supervised*) memiliki tingkat ketelitian 88,89%. Dari data uji akurasi pengolahan citra tersebut dapat disimpulkan bahwa metode klasifikasi terselia (*Supervised*) akurat untuk digunakan dalam penelitian.

Analisis Perubahan Tutupan Hutan

Analisis perubahan tutupan hutan dilakukan untuk melihat perubahan tutupan lahan hutan produksi terbatas di Kecamatan Kulawi, kelas tutupan lahan kemudian dibagi kedalam kategori hutan dan non hutan (**Tabel 6**). Kelas hutan terdiri atas hutan lahan kering primer, hutan lahan kering sekunder dan semak belukar sedangkan kelas non hutan terdiri atas lahan terbuka, perkebunan, dan tubuh air.

Tabel 3. Hasil Uji Akurasi Klasifikasi Terbimbing.

Tutupan Lahan	Hutan Primer	Hutan Sekunder	Perkebunan	Semak Belukar	Lahan Terbuka	Tubuh Air	Total Kolom	Akurasi Produser	Akurasi Pengguna	Akurasi Keseluruhan
Hutan Primer	10	2	0	0	0	0	12	90,90	83,33	
Hutan Sekunder	0	12	0	0	0	0	12	85,71	100	
Perkebunan	1	0	9	2	0	0	12	75	75	
Semak Belukar	0	0	2	10	0	0	12	83,33	83,33	88,89
Lahan Terbuka	0	0	1	0	11	0	12	100	91,66	
Tubuh Air	0	0	0	0	0	12	12	100	100	
Total Kolom	11	14	12	12	11	12	72			

Tabel 6. Matriks perubahan tutupan lahan hutan produksi terbatas.

Kategori	Tutupan Lahan	2015 Luas (Ha)	2020 Luas (Ha)	Perubahan Luas (Ha)
Hutan	Hutan Lahan Kering Primer	10.992,15	9.711,32	-1.280,83
	Hutan Lahan Kering Sekunder	7.956,99	8.559,75	602,76
	Semak Belukar	1.668,74	2.063,78	395,04
Bukan Hutan	Perkebunan/Ladang	2.588,13	2.799,01	210,88
	Lahan Terbuka	229,86	367,22	137,36
	Tubuh Air	17,64	22,40	4,76
Luas Total (Ha)		23.523,48	23.523,48	

Tabel 6 menunjukkan perubahan terbesar terjadi pada hutan lahan kering primer yang mengalami penurunan luasan sebanyak 1.280,83 Ha. Hutan lahan kering sekunder mengalami penambahan luasan sebanyak 602,76 Ha. Semak belukar mengalami penambahan luasan sebanyak 395,04 Ha. Perkebunan mengalami penambahan luasan sebanyak 210,88 Ha. Lahan terbuka mengalami penambahan luasan sebanyak 137,36 Ha dan tubuh air mengalami penambahan luasan sebanyak 4,76 Ha. Perubahan terjadi dikarenakan dampak dari aktivitas yang dilakukan oleh masyarakat di sekitar kawasan hutan.

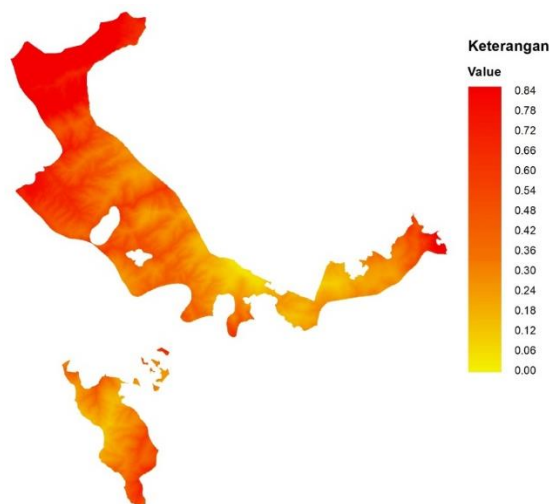
Faktor Pemicu Perubahan Tutupan Hutan

Pembentukan model spasial perubahan tutupan hutan menggunakan 5 faktor peubah terdiri dari jarak dari jalan, jarak dari sungai, jarak dari pemukiman (aspek aksesibilitas), kemiringan lereng, (aspek biofisik) serta aspek sosial yaitu kepadatan penduduk (**Gambar 4**).

Tabel 7. Parameter statistik model hasil regresi logistik biner.

Statistik Model	Peubah
<i>-2logL0</i>	199232,51
<i>2log(likelihood)</i>	138763,85
<i>Pseudo R_square</i>	0,30
<i>Goodness of Fit</i>	5745198,85
<i>ChiSquare</i>	62749,78
<i>ROC</i>	0,91

Tabel 7 menunjukkan hasil analisis regresi logistik biner menunjukkan nilai *goodness of fit* sebesar 5745198,85 nilai *chi square* sebesar 62749,78 dan *pseudo R square* sebesar 0,30 yang menunjukkan model layak digunakan. Kumar (2014) menyatakan bahwa nilai pseudo R square antara 0,20 dan 0,40 dapat dianggap sebagai kecocokan yang sangat baik. Berdasarkan hasil analisis dengan model regresi biner menunjukkan bahwa peluang terjadinya deforestasi berkisar antara 0 sampai dengan 0,84 (mendekati nilai 1) menunjukkan tingginya peluang Perubahan Tutupan Hutan pada area tersebut (**Gambar 5**).

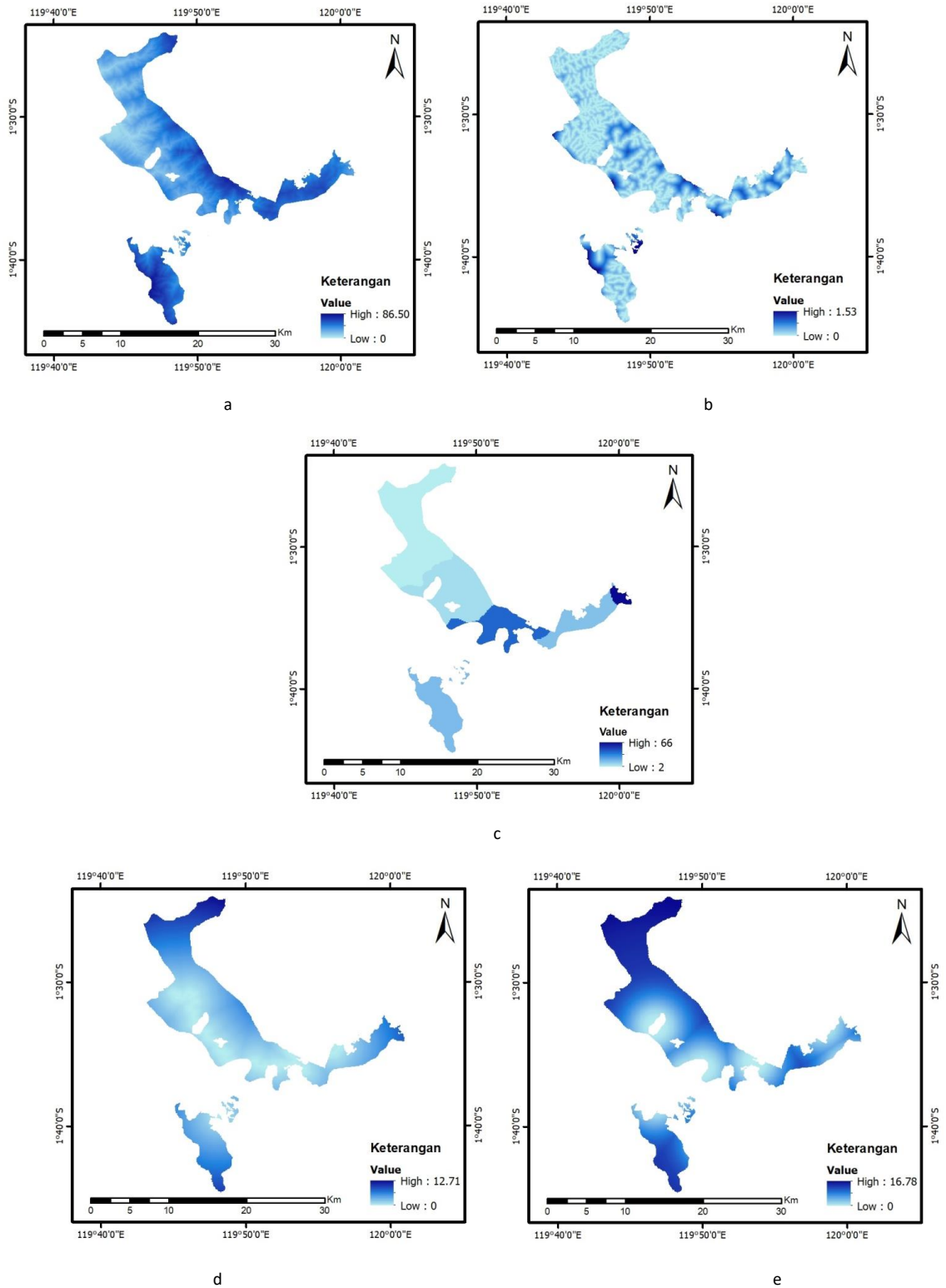


Gambar 5. Peluang terjadinya perubahan tutupan hutan (deforestasi).

$$\text{Logit (p)} = -0,24179 + 0,03247 (x1) + 0,01617 (x2) - 0,43271 (x3) - 0,31261 (x4) + 0,03350 (x5).....(5)$$

atau

$$p = E(Y) = \frac{\exp(-0,24179 + 0,03247 (x1) + 0,01617 (x2) - 0,43271 (x3) - 0,31261 (x4) + 0,03350 (x5))}{1 + \exp(-0,24179 - 0,03247 (x1) + 0,01617 (x2) - 0,43271 (x3) - 0,31261 (x4) + 0,03350 (x5))}.....(6)$$



Gambar 4. Faktor pemicu perubahan tutupan hutan, (a) kemiringan lereng, (b) jarak dari sungai, (c) kepadatan penduduk, (d) jarak dari jalan, (e) jarak dari pemukiman.

Tabel 8. Koefisien regresi model spasial perubahan tutupan lahan hutan produksi terbatas.

Peubah penjelas	Koefisien β	Exp β
Konstanta	-0,24179	0,8
Jalan (x_1)	0,03247	1
Pemukiman (x_2)	0,01617	1
Sungai (x_3)	-0,43271	0,6
Kemiringan (x_4)	-0,31261	0,7
Kepadatan penduduk (x_5)	0,03350	1

Nilai koefisien (β) menunjukkan hubungan peubah penjelas terhadap peluang kejadian perubahan tutupan hutan (*log odds*). Untuk mempermudah interpretasi hasil regresi, dilakukan transformasi nilai koefisien menjadi Exp. Sebagaimana yang dilakukan oleh Mahapatra dan Kant (2005) menyatakan bahwa transformasi nilai koefisien menjadi Exp (*odd ratio*) untuk memudahkan interpretasi hasil regresi. Sedangkan tanda positif dan negatif pada koefisien regresi menunjukkan arah hubungan peubah penjelas terhadap peluang kejadian perubahan tutupan hutan.

Faktor Kepadatan Penduduk berpengaruh terhadap perubahan tutupan hutan diperoleh dari hasil analisis regresi yang menunjukan nilai positif. Hal ini berarti peluang perubahan tutupan hutan banyak terjadi di daerah yang memiliki kepadatan penduduk yang tinggi dimana mata pencaharian penduduk setempat di dominasi petani dan pekebun. Hasil penelitian Sulistiyono dan Agustinus Budi (2015) menyatakan bahwa kepadatan penduduk berbanding terbalik dengan peluang deforestasi. Dengan kata lain, deforestasi yang tinggi malah terjadi pada wilayah-wilayah yang kepadatan penduduknya rendah.

Peubah penjelas lain dalam membangun model spasial perubahan tutupan hutan yaitu faktor kemiringan lereng. Hasil dari analisis regresi logistik menunjukkan bahwa kemiringan lereng berbanding terbalik terhadap laju perubahan tutupan hutan, semakin tinggi nilai kelerengan peluang perubahan tutupan hutan semakin besar. Sebagian lahan kawasan hutan produksi terbatas Kecamatan Kulawi memiliki kemiringan lereng curam 45 % dan sangat curam 30 %. Affandi (2016) pada penelitiannya mengatakan bahwa peluang perubahan tutupan hutan meningkat di areal yang relatif curam. Hal ini dipengaruhi kondisi masyarakat setempat dalam pemenuhan kebutuhan hidup yang bergantung pada alam sekitar.

Jarak dari pemukiman berpengaruh terhadap perubahan tutupan hutan, hasil analisis regresi menunjukkan nilai positif. Hal ini menunjukkan semakin tinggi nilai atau semakin jauh jarak dari pemukiman peluang pengaruh perubahan tutupan hutan semakin besar. Kondisi ini dipengaruhi oleh kemiringan lereng yang didominasi curam dan kondisi lahan datar yang minim cenderung dimanfaatkan untuk pemukiman.

Jarak dari jalan berpengaruh terhadap perubahan tutupan hutan, hasil analisis regresi menunjukkan nilai positif. Hal ini menunjukkan semakin tinggi nilai atau semakin jauh jarak dari jalan peluang pengaruh perubahan tutupan hutan semakin besar. Kondisi ini dipengaruhi oleh akses masyarakat setempat yang cenderung menggunakan jalur sungai sebagai sarana transportasi. Berbanding terbalik dengan hasil penelitian Kumar et al. (2014) menyatakan bahwa pembangunan infrastruktur jaringan jalan meningkatkan peluang terjadinya deforestasi.

Peubah jarak dari sungai berpengaruh terhadap perubahan tutupan hutan, hasil analisis regresi menunjukkan nilai negatif yang menunjukkan peluang perubahan tutupan hutan banyak terjadi di daerah yang berdekatan dengan sungai. Hal ini disebabkan sungai sebagai sumber mata air dan pengairan kebun/ladang masyarakat.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh pada penelitian ini Kelas tutupan lahan terbagi dalam 6 kelas yaitu, hutan lahan kering primer, hutan lahan kering sekunder, semak belukar, perkebunan/lading, tanah terbuka dan tubuh air. Penurunan terbesar terjadi pada kelas hutan lahan kering primer yang mengalami penurunan luasan sebanyak 1.280,83 Ha dan peningkatan terbesar pada kelas hutan lahan kering sekunder 602,76 Ha. Tutupan lahan non hutan berupa, perkebunan, lahan terbuka, dan tubuh air berubah luasannya atau berkurang. Perubahan ini merupakan dampak dari aktivitas yang dilakukan oleh masyarakat di kawasan hutan.

Faktor-faktor pendorong perubahan tutupan hutan di kawasan Hutan Produksi Terbatas di Kecamatan Kulawi Kabupaten Sigi Sulawesi Tengah terdiri dari jalan (x_1), pemukiman (x_2), sungai (x_3), kemiringan (x_4), dan kepadatan penduduk (x_5). Persamaan model spasial yang diperoleh menyatakan bahwa kelima variabel bebas berpengaruh. Variabel jarak dari jalan, kepadatan penduduk dan jarak dari pemukiman mempunyai koefisien positif. Sedangkan variabel kemiringan lereng dan jarak dari sungai mempunyai koefisien negatif, artinya semakin kecil kemiringan lereng, dan semakin kecil jarak dari sungai maka peluang Perubahan Tutupan Hutan semakin besar.

Analisis deforestasi dapat dijadikan salah satu instrumen untuk merumuskan pengelolaan kawasan khususnya dalam upaya monitoring dan pengendalian perubahan tutupan hutan atau deforestasi. Pihak pengelola hutan perlu merumuskan pengelolaan kolaboratif dengan masyarakat yang ada di sekitar kawasan hutan. Selanjutnya pengelolaan hutan perlu disesuaikan dengan kondisi sosial ekonomi masyarakat agar tujuan pengelolaan hutan lestari dan berkelanjutan dapat tercapai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terselesaikannya penelitian ini, tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Pemantapan Kawasan Hutan Wilayah XVI Palu yang membantu dalam mempersiapkan data penelitian serta seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Selain itu, ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Fakultas Kehutanan Universitas Tadulako yang telah mendukung seluruh kegiatan penelitian hingga artikel ini dapat dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A., Saleh, M. B., & Rusolono, T. (2016). Model Spasial Deforestasi di KPHP Poigar, Provinsi Sulawesi Utara. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 5(2), 159-169. <http://dx.doi.org/10.18330/jwallacea.2016.vol5iss2pp159-169>
- Akhbar, M. B., & Somba, B. E. Golar, (2013). AR4-50 Model, The Extraction of Spectral Values Into Remote Sensing Image Data-Based Land Use Class. *Agrivita, Journal of Agricultural Science*, 255-262. <http://doi.org/10.17503/agrivita.v35i3.313>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.06.010>
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Sigi. (2019). Kecamatan Kulawi Dalam Angka 2019. Sigi (ID): *Badan Pusat Statistik. Sigi*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2010). Klasifikasi Penutupan Lahan, *Badan Standardisasi Nasional, Jakarta*. Google Scholar
- Christiani, C. T., Pratiwi. and M, Bambang. (2014). Against Population Density Impact Analysis Quality of Life Community Central Java province. *Serah Acitya-Journals. UNTAG. Semarang*. Google Scholar
- Chein-I Chang. and H, Ren. 2000. An ExperimentBased Quantitative and Comparative Analysis of Target Detection and Image Classification Algorithms for Hyperspectral Imagery. *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1109/36.841984>
- 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 Analanjirifo region, Madagascar. *Forest Ecology and Management*, 262 (11), 1996-2007.
- Eastman, J. R. (2012). *IDRISI Selva Tutorial*. Worcester: Clark University.
- [FAO] Food And Agricultural Organization. 2001. *Global Forest Resources Assessment 2000*, Rome, Italy. Google Scholar
- Feri, T. (2007). *Analisis Perubahan Penggunaan Lahan dan Keterkaitannya Dengan Fluktuasi Debit Sungai Di DAS Antokan Provinsi Sumatera Barat*. Tesis. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 124 hal. Google Scholar
- Foody GM, Campbell NA, Trodd NM, Wood TF. (1992). Derivation and applications of probabilistic measures of class membership from the maximum-likelihood classification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 58: 1335-1341. Google Scholar
- Hosmer, D.W dan Lemeshow, S. (1989). *Applied Logistic Regression*. New York: John Wiley dan Sons. Google Scholar.
- Ilyas, M., Munibah, K., & Rusdiana, O. (2014). Analisis Spasial Perubahan Penggunaan Lahan dalam Kaitannya dengan Penataan Zonasi Kawasan Taman Nasional Gunung Halimun Salak. *Majalah Ilmiah Globe*, 16(1), 33-42. Google Scholar
- Jaya INS. (2010). *Analisis Citra Digital Perspektif Penginderaan Jauh untuk Pengelolaan Sumber Daya Alam*. Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Google Scholar
- Jensen JR. (1986). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. New Jersey: Prentice Hall. 276 p. Google Scholar
- Kumar, R. S, Nandy, R, Agarwal, Kushwaha. (2014). Forest cover dynamics analysis and prediction modeling using logistic regression model. *Journal Ecological Indicators*. 45:444-455. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.05.003>
- Lestari. (2009). *Dampak Konversi Lahan Pertanian Bagi Tarah Hidup Petani*. IPB. Bogor. Google Scholar
- Lindgren, D.T.(1985). *Land Use Planning and Remote Sensing*. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht. Google Scholar
- Lillesand TM, Kiefer RW, (1994). *Remote Sensing and Image Interpretation*. Third edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., 427-523. Google Scholar
- Mahapatra, K., & Kant, S. (2005). Tropical deforestation: a multinomial logistic model and some country-specific policy prescriptions. *Journal Forest Policy and Economics*, 7(1), 1-24. [https://doi.org/10.1016/S1389-9341\(03\)00064-9](https://doi.org/10.1016/S1389-9341(03)00064-9)
- Maulana, D. A. dan Darmawan, A. (2014). Perubahan penutupan lahan di taman nasional way kambas. *Jurnal Sylva Lestari*. 2(1): 87-94. <http://dx.doi.org/10.23960/jsl1287-94>
- Menard, S. (2002). *Applied Logistic Regression Analysis (Quantitative Applications In The Social Sciences)*. California (US): Sage Publications. Google Scholar
- Munibah, K., Sitorus., S.R.P., Rustiadi, E., Gandasasmita, K. & Hartrisari. (2010). Impact of Land use Change to Erosion at Cidanau Watersheed, Banten. *Soil and Climate Journal*. 32:55-69. <http://dx.doi.org/10.2017/jti.v0n32.2010.%25p>
- Purwadhhi, Sri Hardiyanti. (2006). *"Interpretasi Citra Digital"*. Grasindo: Jakarta. Google Scholar
- Prasetyo, Agustinus Budi. (2009). *Pemetaan Lokasi Rawan dan Resiko Bencana Banjir di Kota Surakarta Tahun 2007*. Skripsi. Surakarta: FKIP UNS. Google Scholar
- Rachmat, A.R., A. Pamungkas. (2014). Faktor-Faktor Kerentanan yang Berpengaruh Terhadap Bencana Banjir di Kota Semarang. *Jurnal Teknik POMITS*. 3(2): 178-183. <http://dx.doi.org/10.12962/j23373539.v3i2.7263> Google Scholar
- Rijal, S. (2016). *Pola Spasial Temporal dan Perilaku Deforestasi di Sumatera*. Disertasi. Institut Pertanian Bogor. Bogor. Google Scholar

- Sulistiyono, N., Jaya, I. N. S., Prasetyo, L. B., & Tiryana, T. (2015). Spatial model of deforestation in Sumatra Islands using typological approach. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 21(3), 99–109. <http://doi.org/10.7226/jtjm.21.3.99>
- Van Noordwijk, M., Mulyoutami, E., Sakuntaladewi, N. and Agus, F. (2008). *Swiddens in transition: shifted perceptions on shifting cultivators in Indonesia*. Occasional Paper No.9. World Agroforestry Centre. Bogor. 49 p. Google Scholar
- Wyman, M.S and T.V. Stein. (2010). Modeling social and land-use/land-cover change data to assess drivers of smallholder deforestation in Belize. *Applied Geography*. 30(3):329-342. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.10.001>
- Yanur. C dan Resha. (2018). Penentuan Jenis Citra Satelit Dalam Interpretasi Luasan Ekosistem Lamun Menggunakan Pengolahan Algoritma Cahaya Tampak. *Jurnal Geomatika*. Volume 23 (2): 75-86. <http://dx.doi.org/10.24895/JIG.2017.23-2.704>