

Analisis Spasial Perubahan Penggunaan Lahan Untuk Mitigasi Bahaya Lahan Kritis di Kabupaten Manokwari

Siti Hadjar Kubangun*, Kati Syamsudin Kadang Tola, Samsul Bachri

Jurusan Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas Papua
Jl. Gunung Salju Amban, Manokwari, Papua Barat

* s.kubangun@unipa.ac.id

ABSTRACT: Land degradation is the result of land use or utilization that exceeds the capacity of the land, which will cause critical land. The impacts that occur due to critical land include land degradation in the quality of soil properties, decreasing conservation and production functions, as well as affecting the social and economic life of the people who use the land. This study aimed to reduce the hazard of critical land, based on modeling changes in land cover/use using the Artificial Neural Network (ANN) method. The results of this study indicated that land classified as dangerous to become critical land includes sloping land with converted land cover/use. Reducing the risk of critical land hazard can be done by using land that is in accordance with the ability of the land, by following the rules of soil and water conservation, as well as the role of the government in conserving upstream areas that are oriented towards regional spatial patterns.

Keywords: Artificial Neural Network (ANN), critical land hazard mitigation, spatial model of land use change

PENDAHULUAN

Bencana merupakan peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan baik oleh faktor alam dan/atau faktor nonalam maupun faktor manusia, sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis (UU No. 24, 2007).

Banjir, longsor, kekeringan, merupakan beberapa bentuk bencana yang sering terjadi di Papua, bencana tersebut dipicu oleh kondisi hidrometeorologi serta pengelolaan lahan yang berlebihan melebihi kemampuan lahannya. Pemicu yang mengakibatkan terjadinya bencana tersebut, salah satunya diakibatkan oleh bahaya lahan kritis. Dampak yang terjadi akibat lahan kritis, tidak langsung mengakibatkan bencana banjir pada musim penghujan dan bencana kekeringan

di musim kemarau, namun diawali dengan penurunan kualitas dan produktifitas lahan. Hal ini juga sangat membahayakan kondisi fisik, sosial, dan ekonomi masyarakat yang memanfaatkan lahan tersebut.

Kebencanaan dapat dikurangi risikonya dengan cara mengurangi nilai bahaya dan kerentanan, serta meningkatkan nilai kapasitas (respon penanggulangan). Pengurangan resiko bencana pada lahan kritis dapat dilakukan dengan pengurangan kerentanan lahan, yakni dengan cara pengaturan penggunaan lahan. Penggunaan lahan menjadi hal yang penting karena penggunaan lahan yang melampaui kemampuan lahannya, sangat berpotensi menyebabkan lahan terdegradasi, yang jika keadaan ini terus dibiarkan akan memicu terjadinya lahan kritis (Barus *et al.*, 2011).

Serangkaian upaya untuk mengurangi resiko, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran

dan peningkatan kemampuan dalam menghadapi suatu ancaman/bahaya disebut dengan mitigasi (BNPB, 2012). Upaya mitigasi yang dilakukan terhadap bahaya lahan kritis oleh berbagai instansi/lembaga terkait yang selama ini telah dilaksanakan adalah dengan cara reboisasi. Hal ini menunjukkan bahwa lahan kritis kerap dihubungkan dengan penutupan/penggunaan lahan, selain faktor sifat fisik lahan yang memang sulit diubah, seperti curah hujan yang tinggi, lereng yang curam, dan tanah yang rentan erosi. Penutupan/penggunaan lahan juga merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap erosi, dalam hal mengurangi kekuatan energi kinetik air hujan (Sitorus *et al.*, 2011).

Dengan demikian, untuk mengkaji dan memitigasi lahan kritis, salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah dengan cara menganalisis perubahan penutupan/penggunaan lahan. Dalam kaitannya dengan lahan kritis, lahan-lahan yang mengalami perubahan penutupan yang sebelumnya rapat, berubah menjadi jarang, merupakan lahan-lahan yang berpotensi mengalami kritis; sebagai contoh, perubahan lahan hutan (primer, sekunder ataupun hutan tanaman) menjadi lahan budidaya pertanian, permukiman, semak belukar, atau bahkan menjadi lahan terbuka.

Lahan kritis kerap dihubungkan dengan intervensi manusia terhadap lahan, hal ini disebabkan manusia adalah anasir utama dalam perubahan penutupan/penggunaan lahan. Selain faktor sifat fisik lahan yang juga sangat berperan terhadap kejadian lahan kritis. Berdasarkan pemahaman ini, maka perubahan penutupan/penggunaan lahan dapat dianalisis melalui pendekatan model yang berbasis spasial berdasarkan perubahan penutupan/penggunaan lahan.

Model adalah penyederhanaan suatu sistem tertentu di dunia nyata (Purnomo,

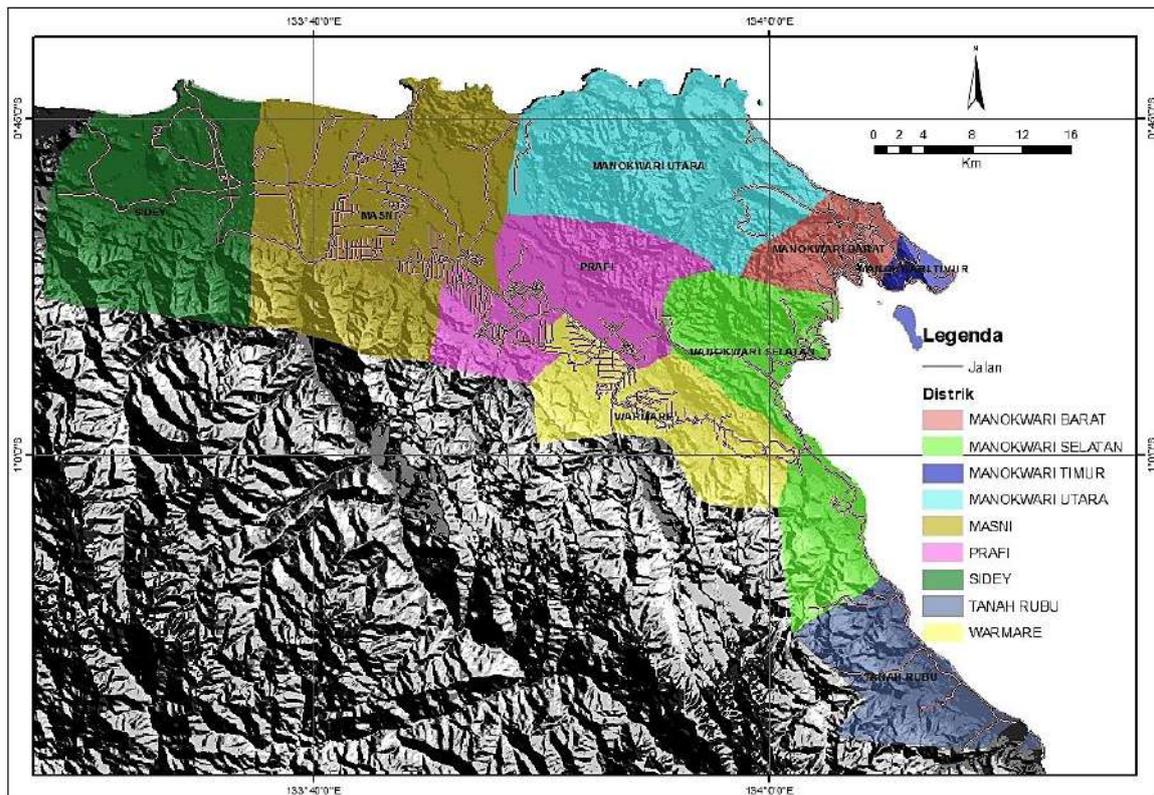
2012). Pemodelan penutupan/penggunaan lahan ini, dibangun dengan mengkombinasikan model dinamika perubahan lahan dengan Sistem Informasi Geografik (SIG) dengan menggunakan pendekatan Artificial Neural Network (ANN).

ANN dalam bahasa Indonesia berarti jaringan syaraf tiruan. ANN yang diaplikasikan pada pemodelan perubahan penutupan/ penggunaan lahan, bekerja dalam empat tahap, yaitu 1) menentukan input dan arsitektur jaringan, 2) membuat jaringan dengan menggunakan sebagian piksel dari input, 3) menguji jaringan dengan menggunakan semua piksel dari input, dan 4) menggunakan informasi yang telah dihasilkan oleh jaringan untuk memprediksi perubahan penggunaan lahan ke depan (Atkinson dan Tatnall, 1997).

Pendekatan ANN ini memiliki beberapa kelebihan, yakni dapat mempertimbangkan faktor pendorong untuk menilai perubahan penutupan/penggunaan lahan seperti jarak terhadap jalan, terhadap permukiman, kepadatan penduduk, hingga kemiringan lereng yang juga merupakan salah satu parameter penentu lahan kritis. Hasil prediksi perubahan penutupan/penggunaan lahan inilah yang kemudian digunakan untuk pengambilan kebijakan jangka panjang sehingga diharapkan dapat mengurangi resiko terjadinya lahan kritis.

BAHAN DAN METODE

Lokasi penelitian meliputi wilayah administratif Kabupaten Manokwari, Provinsi Papua Barat, yang secara geografis terletak pada 00 14' dan 1300 31' BT. Luas wilayah lokasi penelitian mencapai 1.703,17 Km², yang terbagi atas 9 Distrik. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Wilayah Administrasi Kabupaten Manokwari

Bahan penelitian berupa data spasial penggunaan lahan multi temporal yaitu tahun 2000 dan 2015 (1:100.000) yang diproyeksikan ke sistem koordinat UTM (Universal Transverse Mercator) pada Zone 53 South. Data spasial jaringan jalan, Data Digital Elevation Model (DEM) yang diperoleh dari data SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) yang diunduh dari <http://srtm.csi.cgiar.org>; serta data penduduk yang diperoleh dari Kabupaten Dalam Angka yang dipublikasikan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Manokwari tahun 2016 (data real tahun 2015). Bahan penelitian kemudian dianalisis menggunakan perangkat keras komputer, beserta perangkat lunak ArcGIS 10.2 dan Idrisi Selva. Selanjutnya untuk kepentingan verifikasi lapang, digunakan GPS (Global Position System), kamera, dan peralatan tulis.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan mempersiapkan peta penutupan/penggunaan lahan dan faktor-faktor pendorong perubahan lahan. Peta penutupan/penggunaan lahan didapatkan dari data spasial temporal penggunaan lahan (2000 dan 2015) yang menghasilkan 15 kelas penutupan/penggunaan lahan, berdasarkan klasifikasi Badan Planologi Kementerian Kehutanan, yakni: (1) Hutan Primer, (2) Hutan Sekunder, (3) Hutan Mangrove Primer, (4) Hutan Mangrove Sekunder, (5) Hutan Rawa Primer, (6) Hutan Rawa Sekunder, (7) Pertanian lahan kering, (8) Pertanian lahan kering campuran, (9) Sawah, (10) Permukiman, (11) Perkebunan, (12) Semak/Belukar, (13) Tanah Terbuka, (14) Transmigrasi, dan (15) Tubuh air.

ANN dijalankan dengan menggunakan aplikasi LCM (Land Change Modeler) pada perangkat lunak Idrisi Selva dengan tiga tahapan, yakni:

1. Tahap analisis perubahan (Change Analysis)

Tahap ini menganalisis perubahan penggunaan lahan pada input data beda tahun. Grafik perubahan luas tiap penggunaan lahan disajikan pada tahap ini berdasarkan jumlah penambahan ataupun pengurangan luas area dari tiap kelas perubahan lahan.

2. Tahap pemodelan perubahan penggunaan lahan (Transition Potentials)

Tiap kelas perubahan penutupan/penggunaan lahan dimodelkan untuk memprediksi lokasi yang berpotensi berubah menjadi penutupan/penggunaan lahan yang lain. Variabel faktor pendorong, yakni jarak dari jalan, jarak dari permukiman, kepadatan penduduk dan kemiringan lereng dimasukkan dalam tahap ini.

Data spasial jarak dari jalan dan jarak dari permukiman dibuat dengan menjalankan modul Distance. Jumlah penduduk dibuat dalam format data spasial, dengan asumsi bahwa populasi penduduk menyebar secara sirkular dengan jari-jari 2 km (populasi bergerak dan berinteraksi secara aktif pada jarak 2 km) dan populasi akan bertambah besar ketika mendekati pusatnya. Setelah proporsi populasi diperoleh, selanjutnya dibuat faktor kepadatan penduduk dalam bentuk data spasial per piksel.

Hasil dari pemodelan ini adalah peta peluang perubahan lahan (Potential Transition Map) yang memiliki nilai peluang antara 0-1, yakni semakin besar dari 0, maka daerah tersebut memiliki peluang yang besar untuk berubah menjadi penggunaan lain.

3. Tahap proyeksi penggunaan lahan (Change Prediction)

Proyeksi penggunaan lahan ke depan dengan asumsi bahwa perubahan yang terjadi di masa depan memiliki pola dan peluang serupa dengan pola

perubahan yang terjadi selama periode data yang digunakan. Hasil dari tahap inilah yang dijadikan acuan pengambilan kebijakan.

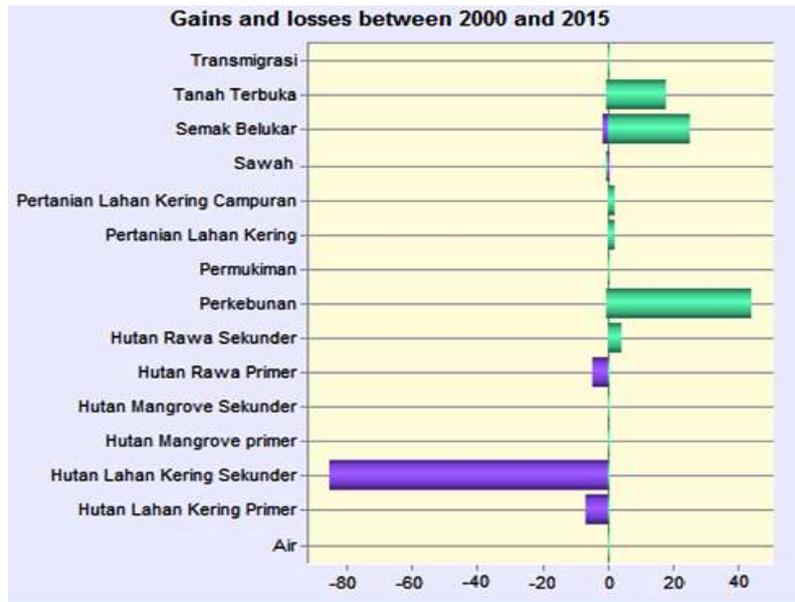
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan spasial bahaya lahan kritis yang perubahan penggunaan lahan dilakukan dengan asumsi bahwa kejadian lahan kritis dipengaruhi oleh perubahan kerapatan penutupan lahan, yakni dari lahan yang bervegetasi rapat ke lahan yang bervegetasi jarang, yang juga dalam tahap pemodelannya dimasukan faktor pendorong kemiringan lereng yang merupakan salah satu faktor terjadinya lahan kritis, serta penduduk yang merupakan faktor terjadinya perubahan lahan.

Analisis perubahan lahan (Change analysis)

Tahap pertama pemodelan perubahan lahan adalah dengan asumsi bahwa proses degradasi lahan sangat dipengaruhi oleh adanya perubahan penutupan/penggunaan lahan bervegetasi rapat menjadi lahan dengan vegetasi jarang. Selain penutupan/penggunaan lahan, erosi juga merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh, namun erosi pada awalnya tidak berbahaya (erosi alami), karena laju erosi berbanding lurus dengan proses pembentukan tanah. Adanya aktifitas manusia dalam menggunakan lahan, proses erosi menjadi dipercepat, hal inilah yang mengakibatkan adanya degradasi lahan. Keadaan ini diperparah jika penggunaan lahan yang dilakukan tidak sesuai dengan kemampuan dan peruntukan lahannya.

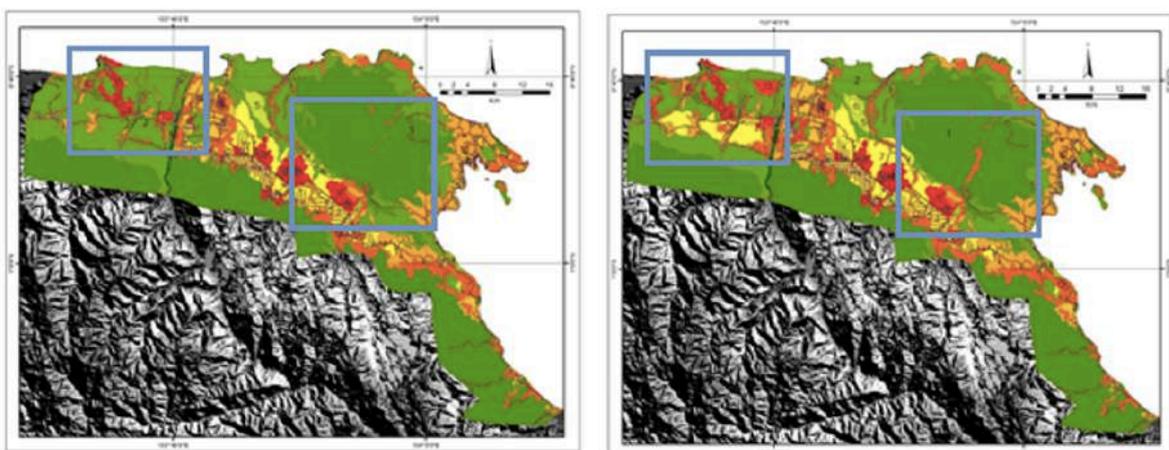
Berikut hasil simulasi penambahan dan pengurangan luas tiap kelas penggunaan lahan pada tahun 2000 dan 2011.



Gambar 2. Analisis perubahan penutupan/penggunaan lahan tahun 2000 dan 2015 (Km2)

Gambar 2 menunjukkan secara spasial bahwa hutan lahan kering sekunder mengalami pengurangan luas lahan yang cukup besar, perubahan penutupan lahan ini bersifat perubahan yang tidak dapat balik (irreversible), yang berarti jika penutupan lahan ini telah beralih fungsi, maka sulit untuk dikembalikan pada penggunaan semula; pengurangan luasan juga terjadi pada hutan rawa primer dan

hutan lahan kering primer. Di sisi lain, perkebunan, semak belukar, dan tanah terbuka mengalami penambahan luasan. Selain tingginya alih fungsi hutan sekunder menjadi perkebunan, alih fungsi hutan sekunder juga mengakibatkan tingginya luasan lahan terbuka dan semak belukar yang disebabkan adanya sistem pertanian masyarakat dengan ladang berpindah.



Gambar 3. Penggunaan lahan lokasi penelitian tahun 2000 (kiri) dan tahun 2015 (kanan)

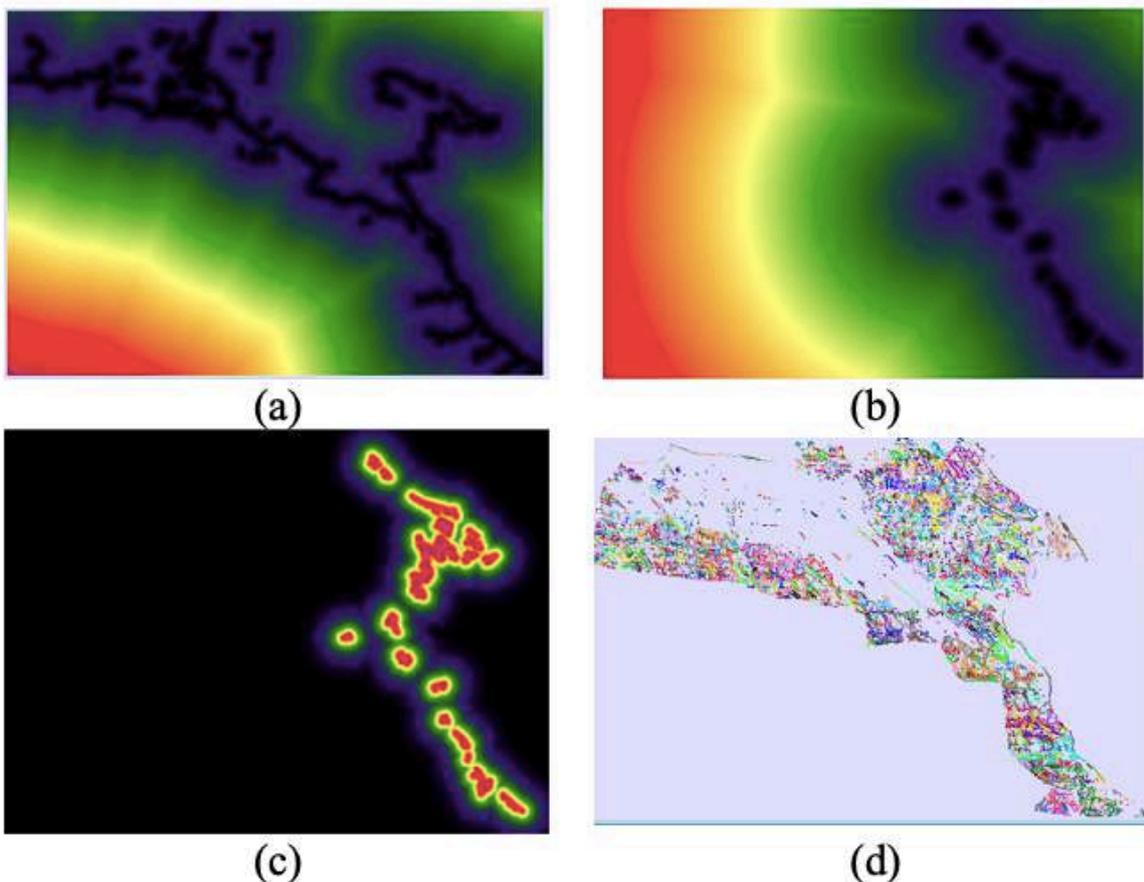
Potensi transisi (Transition potentials)

Pada tahap ini dilakukan pemodelan perubahan lahan dengan memasukan faktor-faktor pendorong perubahan lahan, yakni; jarak dari jalan, jarak dari permukiman, kepadatan penduduk, dan kemiringan lereng, yang juga merupakan salah satu faktor terjadinya lahan kritis.

Jalan, merupakan faktor pendorong perubahan dari segi ekonomi, daerah yang memiliki banyak akses jalan cenderung akan mendorong perubahan lahan ke arah yang tidak dapat balik. Hal ini tentu disebabkan karena daerah yang dekat dengan jalan memiliki land rent yang tinggi. Jalan juga merupakan salah satu faktor pendorong adanya permukiman atau lahan terbangun.

Permukiman, merupakan faktor pendorong perubahan lahan dari sisi sosial, yang jumlahnya berbanding lurus dengan kepadatan penduduk. Kepadatan penduduk yang tinggi tentu saja menyebabkan tingginya kebutuhan akan lahan.

Kemiringan lereng menjadi faktor pendorong perubahan lahan dari segi kondisi fisik lahan. Wilayah yang memiliki daerah yang cenderung datar pada umumnya lebih banyak mengalami perubahan lahan, dibandingkan daerah yang tidak datar (berlereng). Peta faktor pendorong yang dimasukan pada pemodelan tahap ini, disajikan pada Gambar 3.



Gambar 4. Faktor pendorong; (a) Jarak dari jalan, (b) Jarak dari Permukiman, (c) Kepadatan penduduk; dan (d) Lereng

Dari hasil pemodelan tahap 2, selanjutnya dihasilkan peta lokasi perubahan dan kelas penutupan/penggunaan lahan. Dalam kejadian bahaya lahan kritis, diasumsikan bahwa lahan yang patut diperhatikan adalah lahan yang mengalami perubahan

dari lahan tertutup menjadi lahan terbuka, dan sebaliknya lahan kritis tidak akan berpengaruh pada lokasi yang tetap memiliki penutupan/penggunaan lahan yang tetap (tertutup). Berikut dapat dilihat hasil perubahan lahan di lokasi penelitian.



Gambar 5. Spasial Perubahan Lahan

Gambar 5, terdapat 4 perubahan lahan yang ditandai dengan pola yang berwarna, sedangkan warna hitam mengindikasikan bahwa lahan tersebut tidak mengalami perubahan atau bukan merupakan daerah yang dimodelkan. Kotak merah menunjukkan pentingnya pengaruh lereng, sedangkan lingkaran biru menunjukkan pengaruh akses jalan.

Daerah yang banyak perubahan berada pada lokasi sebelah barat, hal ini terjadi karena pada daerah tersebut banyak terdapat akses jalan (Gambar 3a), sedangkan di bagian timur, tidak banyak terjadi perubahan lahan, yang ditandai dengan tampilan yang cenderung hitam. Selain pentingnya jalan, perubahan lahan juga dipengaruhi oleh kemiringan lereng. Daerah yang ditandai dengan kotak merah, menunjukkan bahwa penutupan lahan pada daerah tersebut cenderung tetap dan tidak mengalami perubahan, dengan topografi bergunung dengan kemiringan >45% (Gambar 3d). Daerah ini, kurang

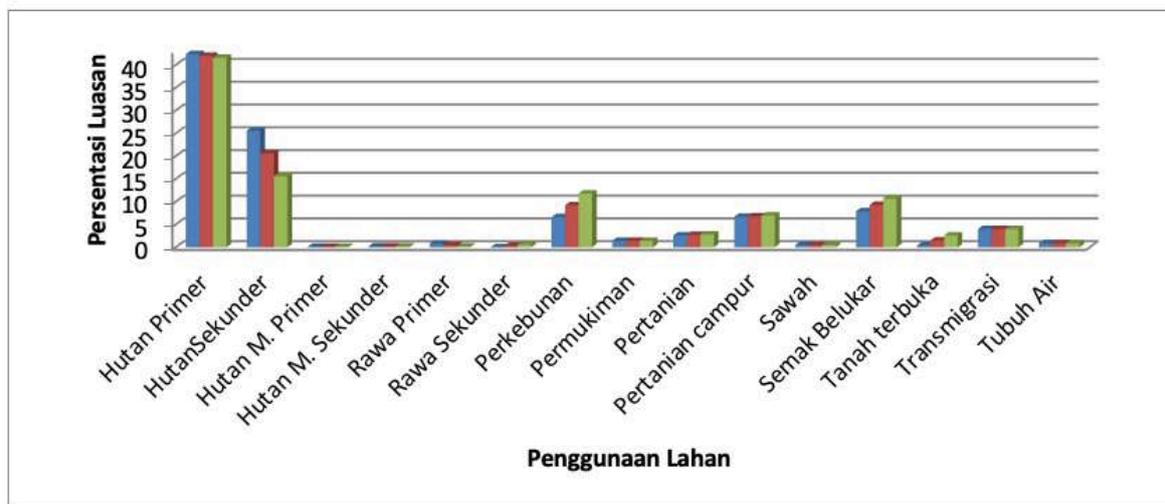
memiliki akses jalan dan permukiman, serta kepadatan penduduk yang lebih rendah dibandingkan dengan daerah yang datar.

Prediksi Perubahan Lahan (Change Prediction)

Berdasarkan trend perubahan pada tahap sebelumnya, maka dilakukan prediksi penutupan/penggunaan lahan dengan asumsi bahwa perubahan yang akan terjadi di masa depan memiliki pola dan peluang yang serupa dengan pola perubahan yang terjadi selama periode waktu yang digunakan. Pada tahapan ini, dimasukan hasil analisis data spasial penutupan/penggunaan lahan tahun 2000 – 2015 untuk prediksi tahun 2030. Secara tabulasi, luas penggunaan lahan di lokasi penelitian pada tahun 2000, 2015, dan prediksi pada tahun 2030 dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 6.

Tabel 1. Luas Penggunaan Lahan di Lokasi Penelitian Pada Tahun 2000, 2015, dan Prediksi pada tahun 2030

No	Penutupan/Penggunaan Lahan	Tahun 2000		Tahun 2015		Prediksi 2030	
		Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
1	Hutan Lahan Kering Primer	721,43	42,4	714,78	42,0	707,97	41,6
2	Hutan Lahan Kering Sekunder	435,45	25,6	350,48	20,6	265,32	15,6
3	Hutan Mangrove Primer	1,49	0,1	1,43	0,1	1,37	0,1
4	Hutan Mangrove Sekunder	4,17	0,2	4,17	0,2	4,17	0,2
5	Hutan Rawa Primer	12,83	0,8	8,35	0,5	3,24	0,2
6	Hutan Rawa Sekunder	0,25	0,01	4,68	0,3	9,62	0,6
7	Perkebunan	113,03	6,6	157,46	9,2	201,74	11,8
8	Permukiman	24,04	1,4	24,09	1,4	24,09	1,4
9	Pertanian lahan kering	43,59	2,6	45,71	2,7	47,41	2,8
10	Pertanian lahan kering campur	113,86	6,7	116,28	6,8	119,91	7,0
11	Sawah	8,35	0,5	8,35	0,5	8,35	0,5
12	Semak Belukar	133,96	7,9	158,43	9,3	182,27	10,7
13	Tanah terbuka	7,53	0,4	25,77	1,5	44,50	2,6
14	Transmigrasi	68,59	4,0	68,59	4,0	68,59	4,0
15	Tubuh Air	14,6	0,9	14,6	0,9	14,60	0,9
Jumlah		1.703,17	100	1.703,17	100	1.703,17	100



Gambar 6. Persentasi Luasan Penggunaan Lahan di Lokasi Penelitian pada Tahun 2000 (biru), 2015 (merah), dan Prediksi pada tahun 2030 (hijau)

Hasil prediksi pada tahun 2030 (Tabel 1 dan Gambar 6) menunjukkan bahwa, penggunaan lahan tetap didominasi oleh hutan lahan kering primer, namun dengan luasan lahan yang terus berkurang, seperti halnya hutan lahan kering sekunder yang pengurangan luasannya cukup signifikan. Perkebunan memiliki trend yang terus meningkat tiap

tahunnya, seperti halnya semak belukar dan tanah terbuka. Berdasarkan hal tersebut, lahan-lahan di daerah penelitian dapat dikatakan memiliki laju degradasi yang cukup tinggi, akibat tingginya pengurangan luasan lahan hutan sekunder yang berganti dengan semak belukar dan tanah terbuka.



Gambar 7. Daerah Transmigrasi dan Perkebunan Kelapa Sawit di Lokasi Penelitian

Perubahan penutupan/penggunaan lahan tidak semerta-merta mengakibatkan lahan menjadi kritis (rusak), pengaturan jenis penggunaan lahan tertentu dengan manajemen lahan yang baik dapat menekan terjadinya bahaya-bahaya yang ditimbulkan oleh lahan kritis. Namun jika dilihat trend perubahan lahan (Gambar 6) semakin belukar dan tanah terbuka yang cenderung terus meningkat tiap tahunnya, dapat diasumsikan bahwa areal tersebut akan menjadi areal yang tidak produktif. Jika keadaan ini dibiarkan dan tidak ditindak dengan usaha Rehabilitasi dan Revegetasi, maka lahan-lahan tersebut akan berakibat menjadi lahan kritis yang rentan mengalami longsor di musim penghujan dan kekeringan di musim kemarau.

Perubahan penutupan lahan, khususnya perubahan kawasan hutan merupakan penyebab utama dari penurunan sistem ekologi, degradasi tanah, hilangnya keanekaragaman hayati, dan barang dan jasa yang disediakan oleh sistem alam (Sanchez-Cuervo, et al.,

2012). Di hutan tropis, kawasan hutan sekunder semakin berkurang, sebagai akibat dari tingginya pertumbuhan penduduk dan permintaan untuk komoditas pangan (Jiang, et al., 2012).

Lahan-lahan yang tergolong kritis pada umumnya akan mencakup daerah berlereng yang kepadatan vegetasinya jarang dan telah terkonversi. Pola Ruang yang merupakan distribusi untuk fungsi lindung dan fungsi budidaya, tertuang jelas dalam RTRW Kabupaten, namun usaha pengurangan resiko bahaya seharusnya juga didukung oleh peningkatan kesadaran para pengguna lahan.

Lahan dengan lereng dan elevasi yang tinggi sebaiknya tetap dijaga sebagai daerah konservasi terhadap air, keanekaragaman hayati dan jasa lingkungan. Akses jalan dan permukiman sebaiknya tetap hanya berada pada kawasan yang memang diperuntukkan untuk kawasan terbangun, dengan demikian lahan yang digunakan bukan hanya berorientasi pada ekonomi, namun

juga berorientasi pada lingkungan agar tetap lestari dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Model perubahan lahan menunjukkan bahwa faktor pendorong memiliki pengaruh yang besar terhadap perubahan lahan, yakni akses jalan, lereng, dan kepadatan penduduk. Dengan demikian mitigasi bahaya lahan kritis dapat dilakukan dengan peningkatan pengelola lahan yang berdasar pada pola ruang daerah, yakni dengan cara mengkonservasi lahan dengan lereng dan elevasi yang tinggi, daerah-daerah ini sebaiknya tetap dijaga sebagai daerah konservasi terhadap air, keanekaragaman hayati dan jasa lingkungan. Akses jalan dan permukiman sebaiknya tetap hanya berada pada kawasan yang memang diperuntukkan untuk kawasan terbangun. Rehabilitasi dan revegetasi lahan yang memiliki vegetasi jarang, sebaiknya dilakukan agar menekan lahan kritis dengan melindungi tanah lahan tersebut dari energi kinetik hujan

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. (2010). *Konservasi Tanah dan Air*. Edisi ke-2. IPB Press. Bogor.
- Atkinson, P. dan Tatnall, A. (1997). Neural network in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*. 18(4):699-709.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2012. *Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana NO.02 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Resiko Bencana*. BNPB. Jakarta.
- Badan Pusat Statistik [BPS] Kabupaten Manokwari. 2016. *Kabupaten Manokwari Dalam Angka*. BPS. Manokwari.
- Barus, B., Gandasmita, K., Tarigan, S., Rusdiana, O. (2011). *Laporan Akhir Penyusunan Kriteria Lahan Kritis*. Bogor. Kerjasama Kementerian Lingkungan Hidup dengan Pusat Pengkajian Pengembangan Wilayah (P4W) Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Jiang, D., Huang, Y., Zhuang, D., Zhu, Y., Xu, X., Ren, H. (2012). A Simple Semi-Automatic Approach for Land Cover Classification from Multispectral Remote Sensing Imagery. *Journal Pone*. September 2012, Vol.7 Issue 9.
- Munibah K. (2008). *Model penggunaan lahan berkelanjutan di DAS Cidanau, Kabupaten Serang, Propinsi Banten (Disertasi)*. Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan. IPB. Bogor.
- Purnomo, Herry. (2012). *Pemodelan dan Simulasi untuk Pengelolaan Adaptif Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. IPB Press. Bogor.
- Sanchez-Cuervo A. M., Aide, T. M., Clark, M. L., Etter A. (2012). Land Cover Change in Colombia : Surprising Forest Recovery Trends between 2001 and 2010. *Journal Pone*. August 2012, Vol.7 Issue 8.
- Sitorus, S. R. P., Susanto, B., Haridjaja, O. (2011). *Kriteria dan Klasifikasi Tingkat Degradasi Lahan di Lahan Kering (Studi Kasus : Lahan Kering di Kabupaten Bogor)*. *Jurnal Tanah dan Iklim* No. 34/2011: 66 – 8.