

Model Spasial Tingkat Kerawanan Kebakaran Hutan dan Lahan (Studi Kasus Propinsi Kalimantan Tengah)

(Spatial Model of Land and Forest Fire Risk Index, Case Study in Central Kalimantan Province)

Samsuri^{a*}, I Nengah Surati Jaya^b, Lailan Syaufina^b

^aProgram Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara.
(*Penulis Korespondensi, E-mail: samsuri74@gmail.com)

^bFakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. E-mail: suratijaya@yahoo.com

^bFakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. E-mail: syaufina@yahoo.com

Diterima: 15 Mei 2010. Disetujui: 25 Desember 2010

Abstracts

This article describes spatial models of land and forest fire risk in Central Kalimantan. The models were established base on human factor and biophysical factor approaches. The main objective of this research is to map out forest fire risk index in Central Kalimantan as well as to identify the major factor that significantly affect the forest fire risk itself. The study use CMA method to develop spatial model of land and forest fire risk. The mathematical model obtained from this study is: $y = -0,00004x^2 + 0,021x - 0,356$ having R^2 about 54 %. The significant factors that affect the forest fire risk are land allocation, land cover, land system and soil type. Model validation shows that the model can predict the risk fire index providing 66,76 % of accuracy.

Key words: Central Kalimantan, forest fire risk, CMA, spatial model

PENDAHULUAN

Kebakaran hutan di Indonesia menarik perhatian masyarakat internasional karena dampaknya terhadap lingkungan, sosial dan ekonomi yang ditimbulkan oleh kejadian kebakaran hutan dan lahan di Indonesia. Berdasarkan data hotspot tahun 2002-2006 dari satelit NOAA 12, propinsi Kalimantan Tengah merupakan salah satu propinsi dengan jumlah hotspot terbanyak, selain propinsi Riau dan Sumatera Selatan. Jumlah hotspot terbanyak umumnya terjadi pada bulan Juli, Agustus, September dan Oktober.

Faktor aktifitas masyarakat sekitar hutan yang berpengaruh nyata terhadap kejadian kebakaran hutan dan lahan dengan korelasi positif adalah kegiatan masyarakat di dalam kawasan hutan (Soewarso, 2003). Booyanuphap (2001) menyatakan faktor pemukiman, jaringan jalan, jaringan sungai dan penggunaan lahan juga berpengaruh untuk menentukan resiko kebakaran hutan dan lahan. Lebih lanjut Arianti (2006) menyatakan bahwa dalam kejadian kebakaran hutan dan lahan faktor manusia lebih dominan dibandingkan dengan faktor biofisik

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan faktor-faktor yang menjadi faktor utama pendukung terjadinya kebakaran hutan dan lahan, serta membuat peta kerawanan kebakaran hutan dan lahan.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah Kalimantan Tengah yang merupakan daerah dengan hotspot lebih banyak dibanding dengan wilayah lain di Indonesia. Pengambilan data dan pengolahan data dilakukan pada bulan Oktober-Desember 2007.

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi peta digital (*format vektor*) yaitu tipe sistem lahan, penutupan lahan, penggunaan lahan, jaringan sungai, jaringan jalan, pusat desa/perkampungan, kota kecamatan, batas administrasi, dan jenis tanah wilayah propinsi Kalimantan Tengah, sebaran dan lokasi (koordinat) hot spot Kalimantan dan data curah hujan harian. Sedangkan alat yang akan digunakan dalam penelitian ini meliputi *personal computer* dan paket software ArcView GIS versi 3.2, kompas, GPS Garmin XL dan kamera digital.

Pengumpulan data sekunder

Input data yang digunakan sebagai faktor pembangun model adalah data spasial faktor biofisik, aktifitas manusia, dan data hot spot (titik panas) hasil olahan dari citra NOAA AVHRR.

Pengumpulan data lapangan

Data lapangan yang diambil terutama adalah data posisi geografis lokasi kebakaran dan kondisi lahan bekas terbakar.

Analisis Data Spasial

- Pengkelasan masing-masing faktor
Masing-masing faktor yang akan digunakan dalam penyusunan model, dibagi ke dalam beberapa kelas.
- Penentuan bobot
Dalam kasus ini hubungan antara jumlah hotspot per km² dengan faktor-faktor penyusun kerawanan kebakaran hutan dan lahan dianalisis untuk menurunkan nilai skor masing-masing faktor. Bobot masing-masing variabel adalah proporsi masing-masing koefisien korelasi dari regresi linear terhadap total seluruh koefisien regresinya.
- Penghitungan nilai skor
Nilai skor masing-masing sub faktor dapat dihitung dengan menggunakan formula (1) dan (2)

$$X_i = \left[\frac{o_i}{e_i} \right] \times \frac{100}{\sum \left(\frac{o_i}{e_i} \right)} \dots\dots\dots (1)$$

dan

$$E_i = \left[\frac{T \times F}{100} \right] \dots\dots\dots (2)$$

keterangan :

X_i = skor kelas (sub faktor) pada masing-masing faktor

O_i = jumlah hotspot yang ada pada masing-masing kelas (observed hotspot)

E_i = jumlah hotspot yang diharapkan pada masing-masing kelas (expected hot spot)

T = jumlah total hot spot

F = persentase luas pada masing-masing kelas
- Penghitungan skor dugaan
Berdasarkan pola kecenderungan (*trend line*) hubungan antara skor setiap faktor dan kepadatan hotspot dihitung nilai skor dugaan menurut pola (persamaan regresi) yang memiliki koefisien determinasi yang relatif lebih tinggi
- Rescaling score*

Nilai skor skala dihitung dengan menggunakan formula Jaya et al. (2007) yaitu :

$$ScoreR_{out} = \left[\left(\frac{scoreE_{input} - scoreE_{min}}{scoreE_{max} - scoreE_{min}} \right) \times (scoreR_{max} - scoreR_{min}) \right] + scoreR_{min}$$

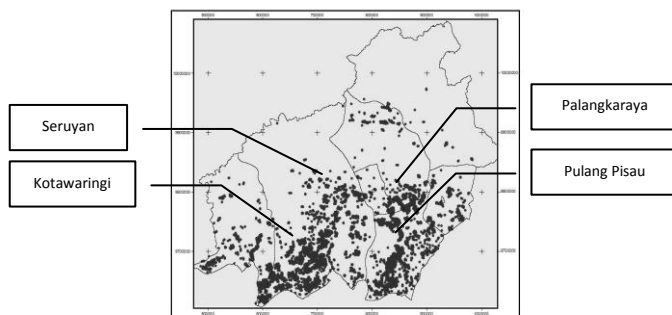
Keterangan : Score R_{out} = nilai skor hasil *rescaling*, Score E_{input} = nilai skor dugaan (*estimated score*) input, Score E_{min} = nilai minimal skor dugaan, Score E_{max} = nilai maksimal skor dugaan, Score R_{max} = nilai skor tertinggi hasil *rescaling* dan Score R_{min} = nilai skor terendah hasil *rescaling*

- Pembuatan persamaan matematik
Skor komposit ditentukan dengan metode CMA, dengan bobot yang diturunkan dari koefisien masing-masing faktor penyusun komposit. Berdasarkan skor komposit, disusun persamaan matematik yang menyatakan hubungan antara jumlah hotspot per km² dengan skor komposit faktor-faktor penyusunnya.
- Uji signifikansi model
Pengujian signifikansi model dimaksudkan untuk memilih model terbaik yang memiliki akurasi tertinggi menggunakan uji Z.
- Pembuatan peta kelas kerawanan kebakaran
Berdasarkan ukuran piksel yang digunakan (500 m) dan radius antar hotspot (2000 m), maka kelas kerawanan kebakaran dikelompokkan ke dalam lima kelas.
- Validasi model
Akurasi model ditentukan berdasarkan nilai matrik koinidensi antara tingkat kerawanan kebakaran menurut model dan tingkat kerawanan menurut kepadatan hotspot dengan menggunakan matrik kesalahan (*confusion matrix*). Nilai akurasi dihitung dengan formula berikut : $OA = \left(\sum_{i=1}^N \frac{x_{ii}}{N} \right) \times 100\%$
yaitu : OA = *overall accuracy*, X_{ii} = jumlah kolom ke-i dan baris ke-i (diagonal) dan N = jumlah semua kolom dan semua baris yang digunakan
- Visualisasi persamaan matematik menjadi model spasial
Persamaan statistik atau model regresi yang diperoleh dari tahap sebelumnya diimplementasikan ke dalam model spasial.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi spasial tingkat kepadatan hospot

Peta kerawanan kebakaran hutan dan lahan dibuat berdasarkan pada distribusi kejadian titik panas di propinsi Kalimantan Tengah, khususnya pada bulan-bulan ketika jumlah hotspot mencapai puncaknya. Data tutupan lahan yang digunakan adalah data resmi yang dipublikasikan tahun 2003 (rekaman satelit tahun 2002), dan data titik panas yang digunakan adalah data tahun 2002. Data hotspot ini dikonversi menjadi data kepadatan hotspot dengan radius jarak antar hotspot 2000 meter dan ukuran sel 500 meter. Hasilnya menunjukkan bahwa hotspot terpadat terdapat di kabupaten Pulang Pisau, Seruyan, Kotawaringin Timur dan Palangkaraya sebagaimana tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta sebaran hotspot Kalimantan Tengah tahun 2002.

Evaluasi kepadatan hotspot

Penelitian ini melibatkan 8 faktor yang dapat mempengaruhi kebakaran hutan dan lahan yaitu tutupan lahan (x1), jarak terhadap sungai (x2), jarak terhadap jalan (x3), jarak terhadap pusat desa (x4), jarak terhadap pusat kota (x5), penggunaan lahan (x6), tipe tanah (x7) dan sistem lahan (x8). Hasil analisis menunjukkan bahwa berdasarkan tingkat kepadatan hotspot, tutupan lahan semak belukar merupakan area dengan hotspot terpadat yaitu sebesar 0.507 per km². Tingkat kepadatan hotspot paling rendah (0.188 per km²) berada di area tidak bervegetasi (lahan terbuka) seperti tertera pada Tabel 1.

Berdasarkan fungsi kawasan, maka kawasan perkebunan dan pengembangan budidaya memiliki jumlah hotspot terbanyak. Sedangkan kawasan hutan penelitian memiliki hotspot paling sedikit (Tabel 2). Kawasan yang berfungsi sebagai kawasan hutan tanaman industri memiliki tingkat kepadatan hotspot paling tinggi, dan disusul oleh kawasan konservasi gambut tebal.

Tabel 1. Data jumlah hotspot pada berbagai tipe tutupan lahan

Tutupan lahan	Jumlah hotspot/km ²	Luas (ha)	Jumlah hotspot
Kebun	0.184	112,791	207
Lahan terbuka	0.184	33,563	62
Ladang	0.261	687,214	1,790
Hutan dataran rendah	0.291	728,653	2,123
Hutan sekunder	0.311	4,589	14
Semak belukar	0.508	125,006	635

Tabel 2. Data jumlah hotspot pada berbagai jenis penggunaan kawasan

Fungsi kawasan	Simbol	Jumlah hotspot/k m ²	Luas (ha)	Jumlah hotspot
Perlindungan dan Pelestarian Hutan	PPH	0.125	779	1
Pendidikan dan Penelitian Kehutanan	PPK	0.125	146	0
Taman Wisata	TW	0.125	3,437	4
Konservasi Air	KEAH	0.138	20,090	28
Hitam				
Kawasan Handil Rakyat	KHR	0.149	87,136	130
Kawasan Pemukiman dan Penggunaan Lain	KPPL	0.194	77,841	151
Perairan	DS	0.202	16,315	33
Hutan Produksi Terbatas	HPT	0.211	206,717	436
Hutan Produksi	HP	0.252	394,239	993
Kawasan Pengembangan Produksi	KPP	0.257	444,399	1,142
Konservasi Flora Fauna	KFF	0.313	77,286	242
Transmigrasi	T1	0.335	53,304	179
Konservasi Hidrologi	KH	0.417	102,778	429
Konservasi Gambut Tebal	KGT	0.440	197,709	870
Hutan Tanaman Industri	HTI	1.035	9,641	100

Kawasan hutan penelitian dan perlindungan memiliki tingkat kepadatan hotspot terendah yakni 0.125 per km². Tingginya kepadatan hotspot di kawasan hutan tanaman industri diduga disebabkan oleh aktifitas penyiapan lahan HTI dengan cara membakar. Selain itu, aktifitas pembakaran di sekitar kawasan HTI juga diduga merembet ke area HTI sehingga terjadi kebakaran di luar area HTI.

Kawasan gambut tebal merupakan tanah yang banyak mengandung bahan organik seperti serasah, ranting-ranting kayu, tunggul dan sisa-sisa kayu yang belum terdekomposisi sempurna (Harahap *et al.*, 1998). Gambut yang mengalami kekeringan karena proses alamiah maupun karena adanya drainase menyebabkan bahan-bahan organik kadar airnya

rendah (kering) sehingga lebih mudah terbakar jika ada pemicunya. Kebakaran lebih mudah terjadi di tanah gambut dibanding dengan jenis tanah bukan gambut sebagaimana ditunjukkan data Tabel 3, yaitu jumlah kepadatan hotspot di tanah gambut lebih tinggi dibanding dengan kepadatan hotspot di tanah bukan gambut.

Tabel 3. Data jumlah hotspot pada berbagai tipe tanah

Tipe tanah	Jumlah hotspot/km ²	Luas (ha)	Jumlah hotspot
Bukan gambut	0.218	571.92	1.25
Gambut	0.327	1,119.90	3.66

Tabel 4 menunjukkan jumlah hotspot pada tipe sistem lahan gambut dangkal (*shallow peat*) sebesar 1,613 adalah tertinggi disusul hotspot pada rawa gambut dalam (*deeper peat swamp forest*) sebanyak 1,491. Hal ini disebabkan oleh kondisi gambut dangkal pada musim kemarau lebih cepat kering yang berarti kadar air rendah. Kandungan kadar air yang rendah memerlukan energi (kalor) yang relatif lebih kecil untuk menyalakan bahan bakar sehingga menjadi hotspot (Chandler et al. (1983); Pyne et al., 1996).

Tabel 4. Data jumlah hotspot pada berbagai sistem lahan

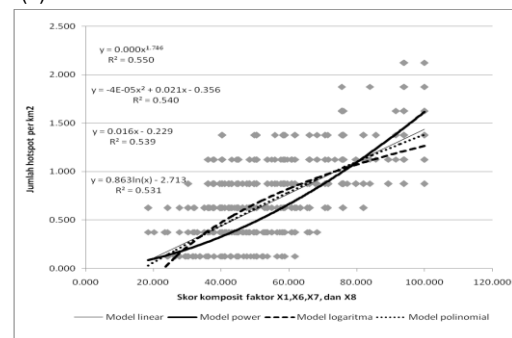
Tipe sistem lahan	Jumlah hotspot /km ²	Luas (ha)	Jumlah hotspot
Alluvial fans and mountain	0.125	258	0
Back swamps	0.125	674	1
Meander belt	0.125	1,966	2
Sedimentary ridges	0.125	743	1
Inter-tidal mudflat	0.125	132	0
Minor valley floors	0.146	18,700	27
Coalescent estuarine	0.169	341,576	577
Permanently waterlogged	0.240	24,403	59
Shallower peat	0.272	159,192	433
Undulating sandy	0.290	208,543	605
Shallow peat	0.301	536,670	1,613
Swampy floodplains	0.308	20,359	63
Deeper peat swamps	0.394	378,599	1,491

Pemberian dan verifikasi skor dengan menggunakan kepadatan hotspot

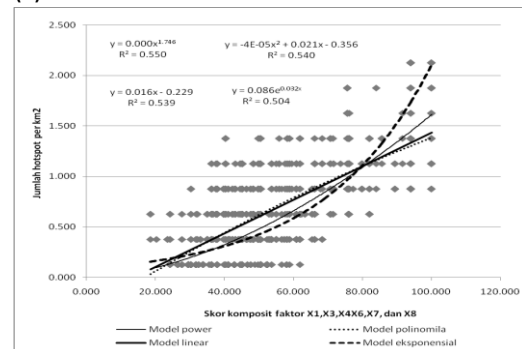
Untuk menghitung nilai koinidensi antara skor kerawanan dan kejadian kebakaran. maka dari peta hasil tumpang susun 8 peta tematik lokasi penelitian dipilih sebanyak 1,775 poligon berdasarkan area yang tercakup oleh titik pengamatan lapangan. Berdasarkan evaluasi nilai koefisien determinasinya

maka terdapat 6 faktor yang memiliki R² yang tinggi yaitu fungsi kawasan (48.4%), sistem lahan (39.71 %), tutupan lahan (31%), tipe tanah (26.4 %), jarak terhadap pusat desa (33.7%) dan jarak terhadap jalan (14.8%). Berdasarkan nilai R² ini dievaluasi hubungan antara kepadatan hotspot dan prediktornya dengan menggunakan analisis regresi. Model 1 hubungan antara nilai kepadatan hotspot dan 3 peubah penduganya memiliki nilai koefisien korelasi sebesar 53.7%; sedangkan model 2 dan model 3 menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi tertinggi (R²) yang diperoleh adalah 55% untuk masing-masing model yang disusun oleh 4 faktor dan 6 faktor sebagaimana tertera pada Gambar 2.

(a)



(b)



Gambar 2. Grafik hubungan antara skor komposit dan kepadatan hotspot (a). 4 faktor dan (b). 6 faktor.

Empat faktor yaitu tutupan lahan, tipe tanah, sistem lahan dan fungsi kawasan. dan enam faktor (empat faktor ditambah jarak terhadap pusat desa. jarak terhadap jaringan jalan) menunjukkan potensi korelasi cukup baik dengan tingkat kepadatan hotspot.

Dengan menggunakan koefisien persamaan regresi bobot masing-masing faktor dapat ditentukan. Bobot masing-masing faktor digunakan untuk menghitung skor komposit. Hubungan antara kepadatan hotspot (jumlah hotspot per km²) dan skor

komposit faktor yang mempengaruhinya dapat dilihat pada grafik Gambar 2.

Bobot masing-masing faktor menunjukkan tingkat pengaruh faktor tersebut terhadap respons model. Tabel 5 menunjukkan bahwa pada model 2 faktor fungsi kawasan memiliki pengaruh yang relatif lebih besar dibanding faktor lainnya yaitu sebesar 41.7%. Fungsi kawasan yang lebih terbuka terhadap akses masyarakat menunjukkan tingkat kepadatan hotspot relatif lebih tinggi dibandingkan dengan fungsi kawasan lain. misalnya kawasan dengan fungsi sebagai HTI. karena aktifitas pembukaan lahan untuk HTI maupun aktifitas lain di sekitar HTI sebagaimana dijelaskan Arianti (2006) bahwa faktor penyebab yang lebih dominan dalam kejadian kebakaran hutan dan lahan adalah faktor manusia.

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui faktor tutupan lahan juga cukup berpengaruh terhadap tingkat kepadatan hotspot dengan tingkat pengaruh sebesar 29.4% pada model 2. Analisis hubungan antara skor komposit (x1, x6, x7 dan x8) dan kepadatan hotspot menunjukkan bahwa model *power* memiliki nilai koefisien determinasi paling tinggi yaitu 55.00% (Gambar 2).

Faktor tipe penggunaan lahan dan tutupan lahan merupakan faktor yang memberikan pengaruh paling tinggi yaitu sebesar 29.4% dan 47.1% pada model 2 serta 30.4% dan 26.1% pada model 3 (Tabel 5).

Tabel 5. Nilai koefisien dan bobot faktor penyusun skor komposit model 2 dan model 3

Faktor		Model 2		Model 3	
		Koefisien	Bobot	Koefisien	Bobot
(X1)	Tutupan lahan	0.005	0.294	0.006	0.261
(X3)	Jarak terhadap jaringan jalan	-	-	0.002	0.087
(X4)	Jarak terhadap pusat desa	-	-	0.005	0.217
(X6)	Fungsi kawasan	0.008	0.471	0.007	0.304
(X7)	Tipe tanah	0.001	0.059	0.001	0.043
(X8)	Tipe sistem lahan	0.003	0.176	0.002	0.087

Verifikasi Model

Verifikasi model dilakukan untuk menguji dan membandingkan antara nilai kepadatan hotspot hasil observasi dengan nilai kepadatan hotspot berdasarkan model. Berdasarkan nilai koefisien determinasinya sebagaimana ilustrasi pada Gambar 2, maka dipilih dua model yaitu model 2 (*model power*

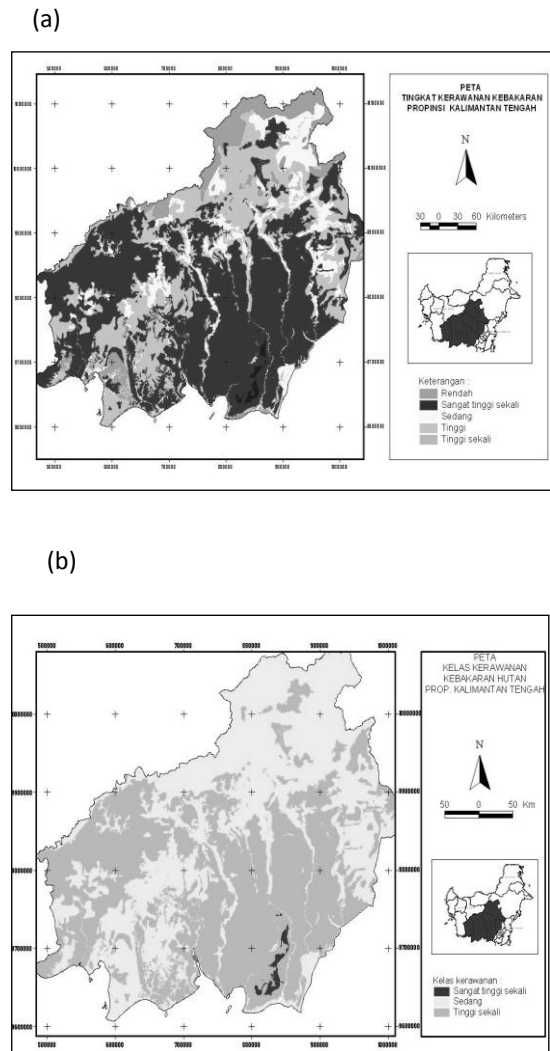
dan *model polinomial*) dan model 3 (*model power* dan *polinomial*). Hasil uji signifikansi model menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara model 2 (*polinomial*) dan model 3 (*polinomial*), yang ditunjukkan oleh nilai Z hitung lebih kecil dari nilai kritis Z nya pada taraf nyata 5%. Dengan demikian tingkat kepadatan hotspot dapat diduga dengan menggunakan model 2 dan model 3. Model 2 dan model 3 adalah sama, dan merupakan model *polynomial* yaitu $-0.00004 x^2 + 0.021 x + 0.356$.

Uji akurasi model

Hasil perhitungan matrik koinsidensi kedua model menunjukkan bahwa model 2 lebih akurat dalam menduga tingkat kepadatan hotspot dengan akurasi 52.56%; sedangkan model 3 memiliki nilai akurasi sebesar 35.23%. Model 2 digunakan untuk membuat peta tingkat kerawanan kebakaran hutan dan lahan yang dikategorikan ke dalam 5 kelas tingkat kerawanan. Namun demikian, karena data observasi tidak mengelaskan tingkat kerawanan ke dalam kelas rendah dan kelas tinggi, maka kelas rendah dan kelas tinggi dalam model ini dimasukkan ke dalam kelas sedang, sehingga kelas resiko bahaya kebakaran hutan dan lahan model dibagi ke dalam 3 kelas yaitu kelas sedang, sangat tinggi dan sangat tinggi sekali. Hasil uji akurasi menunjukkan bahwa pengelompokan ke dalam tiga kelas meningkatkan akurasi dari 52.56 % menjadi 66.76 %.

Implementasi Model

Berdasarkan nilai akurasi antara model 2 dan model 3, maka dipilih model 2 untuk memetakan tingkat kerawanan kebakaran hutan dan lahan. Peta kerawanan kebakaran hutan dan lahan (Gambar 3) menunjukkan bahwa semua daerah dengan kerawanan sangat tinggi sekali (*extremely high*) berada di lahan gambut yaitu seluas 85.018.70 ha (0.56% dari total area studi), sedangkan area non gambut lebih banyak masuk ke dalam kelas sedang yaitu seluas 7,025,208.79 ha (46.02% dari area studi). Hal ini karena tipe lahan gambut di Indonesia pada umumnya berupa gambut kayuan (Hutagalung *et al.* 1998), yang pada saat musim kering sisa-sisa kayu akan muncul dan akan sangat mudah terbakar. Kebakaran gambut sangat berbahaya dan sulit dideteksi karena tipe kebakaran gambut penjarannya melalui bawah permukaan gambut dan membentuk cekungan (Syaufina *et al.*, 2004).



Gambar 3. Peta kerawanan kebakaran hutan dan lahan (a) 5 kelas. dan (b) 3 kelas.

Menurut tipeutupan lahan, area dengan tipeutupan lahan semak seluas 80,708.99 ha (0.53% total area studi) adalah area dengan tingkat resiko kebakaran hutan dan lahan paling tinggi (*extremely high risk*). Hal ini disebabkan semak belukar merupakan bahan bakar yang strukturnya lebih halus sehingga lebih mudah terbakar dibanding dengan jenis bahan terbakar yang lain.

Berdasarkan fungsi kawasan, kawasan HP merupakan area paling luas yaitu 3,264,012.86 ha atau 21.38% dari area studi dengan tingkat kerawanan sangat tinggi, sebaliknya kawasan HPP paling kecil luasannya, hanya 1,175.37 ha yang masuk kelas resiko sangat tinggi (*very high risk*) HP merupakan kawasan yang terbuka dan dapat diakses oleh masyarakat, sehingga kemungkinan terjadinya kebakaran lebih tinggi.

Jika dilihat dari tipe sistem lahannya. maka ada tiga sistem lahan yang sangat rentan terhadap bahaya kebakaran yaitu sistem lahan *deeper peat swamp* (8,188.44 ha atau 0.54 %) *shallow peat* (1,958.96 ha atau 0.01%) dan *shallower peat* (1,175.37 ha atau 0.01%). Ketiga sistem lahan di atas termasuk ke dalam tipe tanah gambut yang terdiri atas sisa kayu, serasah dan ranting yang belum terdekomposisi sempurna. Makin dalam lapisan gambut, maka semakin banyak kandungan sisa-sisa kayu sehingga makin dalam lapisan gambut tingkat resiko kebakaran juga makin tinggi.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Model spasial kerawanan kebakaran hutan dan lahan yang terbaik adalah model 2 yaitu $-0.00004x^2 + 0.021x + 0.356$.
2. Sebanyak empat faktor yaitu tipe sistem lahan, tipe tutupan lahan, tipe tanah dan fungsi kawasan memiliki koefisien determinasi yang cukup (54%). dan dapat digunakan untuk menduga kepadatan hotspot per km².
3. Model kerawanan kebakaran hutan dan lahan dengan menggunakan empat faktor memiliki akurasi sebesar 66.76% untuk pengkategorian ke dalam tiga kelas. dan 52.6% untuk pengkategorian ke dalam lima kelas

DAFTAR PUSTAKA

- Arianti, I. 2006. Pemodelan Tingkat dan Zona Kerawanan Kebakaran Hutan dan Lahan Menggunakan System Informasi Geografis Di Sub Das Kapuas Tengah Propinsi Kalimantan Barat. [MS-Thesis]. Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor.
- Booyanuphap, J. 2001. GIS Based-Method in Developing Wildfire Risk Model: A Case Study in Sasamba, East Kalimantan, Indonesia. [MS - Thesis]. Graduated Program, Bogor Agricultural University. Bogor.
- Chandler, C., Cheney, P., P,Thomas, P., L, Traubaud, L. and Williams, D. 1983. Fire in Forestry Vol. I. Jhon Wiley and Sons. Canada.
- Harahap, A.J., Hutagalung, H. 1998. Status Tanah Gambut di Sumatera Utara *dalam* Prosiding Seminar Lahan Gambut. Universitas Tanjungpura.

- Jaya, I.N.S., Boer, B., Samsuri. 2007. Developing Fire Risk Index in Central Kalimantan. International Research Institute and Bogor Agricultural University: A Project Report. Bogor.
- Soewarso. 2003. Penyusunan Pencegahan Kebakaran Hutan Rawa Gambut dengan Menggunakan Model Prediksi. [MS-Desertasi]. Bogor: Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Syaufina, L., Nuruddin, A.A., Basyarudin, J., See, L.F., Yusof, M.R.M. 2004. The Effect of Climatic Variation on Peat Swamp Forest Condition and Peat Combustibility. *Journal of Tropical Forest Management*. Vol X. No. 1. 1-14.