PEMODELAN CITRA PENGINDERAAN JAUH MULTI WAKTU UNTUK PEMANTAUAN DEFORESTASI

MULTI TEMPORAL REMOTELY SENSED IMAGE MODELING FOR DEFORESTATION MONITORING

Dian Nuraini Melati

Pusat Teknologi Reduksi Risiko Bencana (PTRRB), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Gedung Geostech, Kompleks Puspiptek, Serpong, Kota Tangerang Selatan / Gedung 2 BPPT, Lantai 12, Jl. MH Thamrin 8, Jakarta 10340
e-mail: dian.nuraini@bppt.go.id

ABSTRACT

Tropical rainforest in Indonesia faces critical issue related to deforestation. Human activities which convert forest cover into non-forest cover has been a major issue. In order to sustain the forest resources, monitoring on deforestation and forest cover prediction is necessary to be done. Remotely sensed data, Landsat images, with acquisition in 1996, 2000, and 2005 are used in this study. In this study area, forest cover decreased around 6% in the period of 1996 - 2005. For the purpose of forest cover modelling, three model (i.e. Stochastic Markov Model, Cellular Automata Markov (CA_Markov) Model, dan GEOMOD) were tested. Based upon the Kappa index, GEOMOD performed better with the highest Kappa index. Therefore, GEOMOD is recommended to forecast forest cover.

Keywords: forest, prediction, landsat, climate change, deforestation

ABSTRAK

Hutan hujan tropis di Indonesia menghadapi banyak masalah yang kritis terutama dengan isu deforestasi. Banyak tutupan hutan dikonversi menjadi tutupan lain karena aktivitas manusia. Oleh karena itu, pemantauan deforestasi dan prediksi tutupan hutan perlu dilakukan untuk menjaga keberlanjutan sumber daya hutan. Pada kajian ini digunakan citra Landsat tahun 1996, 2000, dan 2005 untuk pemantauan dan pemodelan tutupan hutan. Dari hasil kajian, tutupan hutan di daerah kajian mengalami penurunan sebesar 6% selama periode 1996 – 2005. Pada pemodelan tutupan hutan, dilakukan perbandingan tiga model prediksi tutupan hutan yaitu *Stochastic Markov Model*, *Cellular Automata Markov (CA_Markov) Model*, dan *GEOMOD*. Sebagai hasilnya, *GEOMOD* menunjukkan indeks Kappa yang tertinggi. Oleh karena itu, *GEOMOD* direkomendasikan untuk pemodelan prediksi tutupan hutan.

Kata kunci: hutan, prediksi, landsat, perubahan iklim, deforestasi

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hutan dan juga biodiversitas yang terdapat di dalamnya memiliki peranan yang penting dalam menjaga keseimbangan karbon. Kerusakan hutan berperan nyata terhadap perubahan iklim karena peningkatan gas rumah kaca terutama CO₂ sebagai sumber emisi (Metz *et al.*, 2007). Sumber emisi ini dapat berasal dari penebangan ilegal (*illegal logging*), kebakaran lahan gambut, dan deforestasi.

Menurut Pachauri & Reisinger (2007), laporan sintesis *International Panel on Climate Change* (IPCC) menyebutkan bahwa emisi dari sektor kehutanan berkontribusi 17,4% setelah sektor energi dan industri. Salah satu alasannya disebabkan oleh deforestasi hutan tropis.

Deforestasi hutan tropis telah menjadi sumber utama peningkatan CO₂ yang disebabkan oleh perubahan penggunaan lahan dalam dua dekade terakhir (Denman *et al.*, 2007). Perubahan hutan menjadi lahan pertanian adalah penyebab utama deforestasi (FAO, 2005). Laporan dari *Global*

Forest Resources Assessment (FAO, 2005) tahun 2005 menyebutkan bahwa hutan tropis di Brazil dan Indonesia merupakan hutan yang memiliki tingkat deforestasi yang tinggi pada tahun 2000 – 2005.

Penurunan tutupan hutan dapat dikaji menggunakan teknologi penginderaan jauh yang diintegrasikan dengan data lapangan (De Fries *et al.*, 2006). Pada analisis perubahan lahan, data penginderaan jauh multi waktu sangat dibutuhkan untuk pemantauan perubahan. Perekaman data penginderaan jauh secara multi waktu memberikan informasi mengenai tren penutupan lahan pada waktu yang berbeda. Kemampuan untuk merekam permukaan bumi secara periodik ini membawa keuntungan untuk pemantauan perubahan tutupan hutan.

Berdasarkan kajian sumber daya hutan secara global pada tahun 2015, Indonesia memiliki luas tutupan hutan 91 juta hektar (FAO, 2015). Hal ini membawa keuntungan secara ekonomi dan juga keanekaragaman hayati serta seluruh aspek lingkungan. Namun demikian, 30 persen dari luas area ini tidak tertutup hutan lagi karena degradasi dan deforestasi yang mencapai 2 juta hektar per tahun (World Bank, 2006). Fenomena ini terjadi disebabkan oleh aktivitas ilegal seperti penebangan hutan yang berlebihan, dan juga kebakaran hutan di akhir tahun 1990 (FAO, 2007).

Riau merupakan salah satu provinsi di Indonesia dengan deforestasi terbesar dibandingkan provinsi lain di Sumatra (Melati, 2012). Pada tahun 1982 - 2007, hutan di Riau memiliki penurunan sekitar 65% (Uryu *et al.*, 2008).

Dengan adanya isu deforestasi ini, sangat diperlukan pemantauan beserta prediksi tutupan hutan sehingga dapat mendukung kebijakan bagi para pemegang keputusan. Dalam rangka mencapai tujuan dari kajian ini, maka digunakan data penginderaan jauh multi waktu yang selanjutnya dilakukan teknik pengolahan citra untuk analisis deforestasi. Dari analisis deforestasi ini, maka dapat dilakukan pemodelan prediksi untuk mengetahui apa yang akan terjadi pada tutupan hutan di masa yang akan datang. Informasi ini sangat penting untuk tujuan konservasi dan manajemen hutan secara berkelanjutan. Dengan demikian, dapat menjadi masukan bagi pengambil kebijakan dalam rangka mengurangi deforestasi yang selanjutnya dapat berperan serta secara aktif dalam menurunkan emisi CO₂ dan mencegah perubahan iklim.

1.2. Tujuan Penelitian

Kajian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan hutan dengan menggunakan teknik pengolahan citra penginderaan jauh dan selanjutnya melakukan uji pemodelan prediksi tutupan hutan. Beberapa tujuan dari kajian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi dan mengkuantifikasi tutupan hutan pada daerah kajian menggunakan citra penginderaan jauh.
2. Menganalisis perubahan tutupan hutan antara tahun 1996 – 2005.
3. Menginvestigasi dan memvalidasi model prediksi tutupan hutan menggunakan beberapa teknik.

II. BAHAN DAN METODE

2.1. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam kajian ini adalah data penginderaan jauh dan peta penggunaan lahan pada daerah kajian. Data penginderaan jauh yang digunakan adalah Landsat TM dan Landsat ETM+. Secara lebih detil mengenai bahan-bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Landsat 5 TM *Path/Row* 127/059, perekaman tanggal 28 Juli 1996.
2. Landsat 7 ETM+ *Path/Row* 127/059, perekaman tanggal 26 April 2000.
3. Landsat 5 TM *Path/Row* 127/059, perekaman tanggal 19 Juni 2005.
4. Peta Penggunaan Lahan tahun 1997 dan 2000.
5. Citra Google Earth.

2.2. Metode

2.2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di area hutan sekitar Kabupaten Rokan Hulu, Provinsi Riau. Namun demikian, lokasi penelitian tidak dilakukan pada seluruh kabupaten karena data penginderaan jauh di daerah ini tidak bersih oleh tutupan awan sehingga lokasi penelitian hanya pada daerah hutan dengan tutupan awan paling sedikit dan juga pada daerah yang mengalami deforestasi. Lokasi penelitian terletak antara koordinat 0°58'27" N – 1°10'N and 100°35'31" E - 100°44'10" E. Gambar 1 menunjukkan kondisi hutan di sekitar lokasi penelitian.

Gambar 1. Kondisi Hutan di Sekitar Lokasi Penelitian (Sumber: Uryu *et al.*, 2008)

2.2.2. Pemantauan Tutupan Hutan

a. Pra-pengolahan citra penginderaan jauh

Pra-pengolahan citra penginderaan jauh dilakukan terkait dengan koreksi geometrik dan radiometrik. Koreksi geometrik bertujuan untuk mengoreksi kesalahan posisi karena rotasi bumi, sedangkan koreksi radiometrik bertujuan untuk mengoreksi efek-efek atmosferik (Lillesand & Kiefer, 2000). Data Landsat yang digunakan pada kajian ini telah terkoreksi pada Level 1T untuk citra perekaman tahun 1996 dan 2005, dan Level 1G untuk citra perekaman tahun 2000. Level 1G menunjukkan citra telah terkoreksi geometrik dan radiometrik oleh sensor. Sedangkan level 1T menunjukkan bahwa citra telah terkoreksi geometrik dan radiometrik menggunakan *Digital Elevation Model* (DEM) dan titik kontrol untuk koreksi topografi (USGS, 2010).

Pembuatan citra komposit juga dilakukan pada pra-pengolahan citra. Sesuai dengan tujuan kajian ini yaitu analisis tutupan hutan, maka citra komposit dibuat dari komposisi *band 5* yaitu *Middle Infrared* (MIR) pada saluran merah, *band 4* yaitu *Near Infrared* (NIR) pada saluran hijau, dan *band 3* yaitu *Red* pada saluran biru. Pada citra komposit saluran 5, 4, 3 tersebut, warna merah menunjukkan tanah karena panjang gelombang MIR pada saluran merah menunjukkan reflektansi tinggi pada tanah. Warna hijau pada gambar tersebut menunjukkan vegetasi karena NIR pada saluran hijau memberikan reflektansi yang tinggi pada vegetasi. Selanjutnya saluran biru memberikan informasi tubuh air.

b. Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital meliputi klasifikasi citra. Pada dasarnya, klasifikasi citra dapat dilakukan secara terbimbing maupun tidak terbimbing. Pada kajian ini, klasifikasi dilakukan dengan menggunakan

teknik terbimbing. Klasifikasi terbimbing merupakan pengelompokan suatu kelas kategori berdasarkan sampel area. Sampel area diperoleh dari data pendukung seperti peta penggunaan lahan dan hasil interpretasi citra dari Google Earth. Adapun tipe penggunaan lahan yang dapat ditemui pada daerah kajian adalah sebagai berikut:

1. Hutan, yaitu area dengan tutupan hutan yang dikategorikan sebagai hutan tropis.
2. Lahan pertanian, yaitu area dengan peruntukan pertanian
3. Semak belukar, yaitu area dengan tutupan semak dan alang-alang
4. Tubuh air, yaitu area yang meliputi sungai dan danau
5. Lahan kosong, yaitu area terbuka tanpa tutupan lahan

c. Uji Akurasi

Uji akurasi perlu dilakukan pada hasil klasifikasi citra. Uji akurasi menghitung jumlah kesamaan antara kategori-kategori hasil klasifikasi terhadap data lapangan, hal ini penting dilakukan untuk menunjukkan level kesalahan dari pemetaan tutupan lahan (Eastman, 2009). Pada umumnya, uji akurasi digambarkan dalam sebuah *error matrix*. Uji akurasi dilakukan dengan data independen yaitu dengan mendistribusikan titik sampel secara sistematis pada daerah kajian. Dari distribusi sistematis tersebut, diperoleh 140 titik sampel. Langkah selanjutnya adalah mendefinisikan kelas tutupan lahan pada masing-masing titik sampel tersebut, yang kemudian disebut dengan kelas referensi. Kelas tutupan lahan didefinisikan dengan cara interpretasi visual pada citra Google Earth, citra komposit Landsat, dan peta penggunaan lahan. Hasil dari kelas referensi ini kemudian dibandingkan dengan hasil klasifikasi citra dengan menggunakan *error matrix*. Dari matriks ini, akurasi keseluruhan dapat dihitung sebagai hasil dari total klasifikasi lahan yang sesuai dengan kelas referensi dibagi dengan jumlah total titik sampel.

2.2.3. Pemodelan Tutupan Hutan

Pemodelan tutupan hutan yang meliputi kalibrasi dan validasi dilakukan secara terpisah untuk tiga model yang berbeda. Validasi dengan menggunakan indeks Kappa dilakukan untuk membandingkan kemampuan tiga model tersebut dalam memprediksi tutupan hutan. Pada akhirnya model terbaik dari ketiga model tersebut dipilih berdasarkan nilai Kappa yang tertinggi. Diagram alir dari

pemodelan perubahan tutupan hutan digambarkan pada Gambar 2.

Gambar 2. Diagram Alir Pemodelan Perubahan Tutupan Hutan

a. Kalibrasi

Kalibrasi dari tiga model meliputi model *Stochastic Markov Model*, *CA_Markov Model*, dan *GEOMOD*. Peta tutupan lahan sebagai data masukan yang utama dalam pemodelan ini disimplifikasi menjadi kelas hutan dan non-hutan. Pemodelan *Stochastic Markov Model* didasarkan pada model markov, dimana model ini menginvestigasi perubahan tutupan lahan saat ini (t1) dan tahun sebelumnya (t0) untuk memprediksi tutupan lahan di masa yang akan datang (t2). Diagram alir dari *Stochastic Markov Model* dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. Diagram Alir Pemodelan Perubahan Tutupan Hutan dengan Model *Stochastic Markov*

Model kedua yang digunakan adalah *CA_Markov Model*. Model ini menggunakan analisis *markov chain*, dan juga konsep *Cellular Automata*. *Cellular Automata* didefinisikan sebagai suatu obyek yang memiliki kemampuan untuk merubah satu kategori berdasarkan suatu aturan yang menghubungkan kategori baru dengan kategori sebelumnya dan juga kondisi di sekitarnya (Eastman, 2009b). Model ini memperhitungkan spasial dependensi. Ada dua hal yang diperhitungkan untuk memprediksi perubahan penutupan lahan yaitu citra kesesuaian dan jendela filter. Diagram alir model *Cellular Automata Markov* dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4. Diagram Alir Pemodelan Perubahan Tutupan Hutan dengan Model *CA_Markov*

Model selanjutnya adalah *GEOMOD*. Model ini sudah banyak digunakan untuk menentukan skenario dasar dari deforestasi untuk tujuan perdagangan karbon yang merupakan isu utama pada perubahan iklim (Pontius & Chen, 2006). Perbedaan dari model ini dibandingkan dengan dua model sebelumnya adalah model ini tidak menggunakan analisis *markov chain*. Oleh karenanya, *GEOMOD* hanya bekerja untuk mensimulasikan satu arah transisi yaitu pengurangan (*loss*) atau penambahan (*gain*) satu kategori. Sedangkan *CA_Markov* mampu mensimulasikan transisi beberapa kategori (Pontius & Malanson, 2005). Untuk memprediksi kuantitas di t2, maka diperlukan informasi kuantifikasi suatu kategori di t0 dan t1. Pada kajian ini, kuantitas hutan di tahun 2005 diprediksi dengan menggunakan regresi linier berdasarkan kuantitasnya di tahun 1996 dan 2000. Diagram alir dari analisis *GEOMOD* dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5. Diagram Alir Pemodelan Perubahan Tutupan Hutan dengan Model *GEOMOD*

b. Validasi

Validasi dilakukan untuk mengetahui akurasi dari model prediksi perubahan penutup lahan. Pada kajian ini, validasi dilakukan berdasarkan nilai indeks Kappa. Kappa menunjukkan kesamaan antara penutup lahan hasil prediksi dengan penutup lahan yang digunakan sebagai referensi pada satu periode yang sama.

Selanjutnya, masing-masing model dilakukan validasi. Dengan membandingkan nilai indeks Kappa dari tiga model tersebut, maka model dengan nilai Kappa indeks tertinggi dipilih menjadi model terbaik untuk melakukan prediksi perubahan penutup lahan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengolahan Citra

3.1.1. Klasifikasi Citra

Dari hasil klasifikasi citra, selanjutnya dilakukan generalisasi untuk menentukan luasan poligon terkecil hasil pemetaan. Pada kajian ini, unit terkecil pemetaan dipilih 1 Ha sehingga poligon dengan luasan kurang dari 1 Ha akan disatukan dengan penutup lahan di sekitarnya. Peta penutup lahan hasil klasifikasi terselia dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6. Penutup Lahan pada Lokasi Penelitian Tahun (a) 1996, (b) 2000, dan (c) 2005

Dari peta penutup lahan ini, uji akurasi menunjukkan bahwa peta penutup lahan tahun 1996 memiliki total akurasi 82%, tahun 2000 memiliki total akurasi 76%, dan tahun 2005 memiliki total akurasi 74%. Adapun luas tutupan lahan pada masing-masing tahun analisis dapat dilihat pada Tabel 1. Dari informasi tersebut, kita dapat melihat total deforestasi pada daerah kajian, yaitu sebesar 1% dari tahun 1996-2000, dan 5% dari tahun 2000-2005.

Tabel 1. Luas Penutup Lahan (Ha)

Penutup lahan	Luas (Ha)		
	1996	2000	2005
Hutan	15669,63	15501,51	14701,5
Lahan pertanian	6744,87	6717,06	7270,83
Semak belukar	9708,03	9867,96	9692,82
Tubuh air	621,54	692,64	578,97
Lahan kosong	1445,4	1410,3	1945,35

3.1.2. Analisis Perubahan Tutupan Hutan

Tutupan hutan merupakan bagian utama dari kajian ini. Gambar 7 menunjukkan distribusi spasial dari perubahan tutupan hutan pada periode 1996-2000, 2000-2005, dan 1996-2005.

Gambar 7. Perubahan Hutan pada Periode (a) 1996-2000, (b) 2000-2005, dan (c) 1996-2005

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa hilangnya hutan paling sedikit terjadi pada periode 1996-2000. Periode 2000-2005 dan 1996-2005 menunjukkan pola yang mirip karena tingginya hutan yang hilang di tahun 2005. Dapat kita lihat pada peta penutup lahan tahun 2005 bahwa daerah hutan di sebelah barat daya terbuka yang kemungkinan digunakan untuk daerah pertanian. Dalam hal ini, kita dapat melihat bahwa aktivitas manusia sangat berperan dalam meningkatkan perubahan tutupan hutan.

3.2. Pemodelan Tutupan Hutan

3.2.1. Model *Stochastic Markov*

Sebelum memulai model *stochastic markov chain*, analisis dilakukan untuk tahun 1996 dan 2000 dengan tujuan memprediksi tutupan hutan di tahun 2005. Proses ini menghasilkan matriks probabilitas transisi (Tabel 2), matriks transisi area (Tabel 3), dan citra probabilitas bersyarat (Gambar 8). Matriks probabilitas transisi menunjukkan probabilitas perubahan penutup lahan dari satu kategori ke kategori yang lain, sedangkan matriks transisi area menunjukkan luasan area dalam jumlah piksel yang berubah dari satu kategori ke kategori lain. Hasil terakhir dari analisis markov yaitu citra probabilitas yang menunjukkan kemungkinan kategori yang dapat ditemukan. Citra ini diproyeksikan dari dua citra sebelumnya. Dari hasil-hasil analisis markov, analisis *stochastic* dilakukan dengan menggunakan citra probabilitas kondisional sebagai masukan.

Tabel 2. Matriks Probabilitas Transisi antara Hutan dan Non-hutan

		2000	
		Hutan	Non-hutan
1996	Hutan	0,828	0,172
	Non-hutan	0,159	0,841

Tabel 3. Matriks Transisi Area antara Hutan dan Non-hutan

		2000	
		Hutan	Non-hutan
1996	Hutan	142,553	29,686
	Non-hutan	33,077	174,567

Area transisi ditunjukkan dalam jumlah piksel yang memiliki unit terkecil sesuai dengan citra yang digunakan, yaitu 30 x 30 m. Gambar 8 menunjukkan citra probabilitas kondisional dan Gambar 9 menunjukkan citra prediksi di tahun 2005 sebagai hasil dari *Stochastic Markov Model*. Pada gambar tersebut terlihat dari hasil model ini yang menunjukkan *salt and pepper effect* karena kelemahan model ini yang tidak memperhatikan spasial dependensi (Eastman, 2009).

Gambar 8. Citra Probabilitas untuk (a) Hutan dan (b) Non-hutan

Gambar 9. Prediksi Tutupan Hutan Tahun 2005 dengan *Model Stochastic Markov*

3.2.2. Model *Cellular Automata*

Citra kesesuaian digunakan dalam model CA_Markov untuk ekstrapolasi transisi, dimana kategori tertentu ditentukan berdasarkan kesesuaian yang terbesar. Citra kesesuaian yang meliputi faktor-faktor yang berpengaruh dibuat berdasarkan beberapa kategori yang terdapat pada peta penutup lahan. Pada kajian ini, peta penutup lahan yang digunakan untuk memprediksi tutupan hutan terdiri dari hutan dan non-hutan. Oleh karenanya, citra kesesuaian dibuat dari dua peta ini. Citra kesesuaian ini hanya digunakan pada model CA_Markov dan GEOMOD.

Untuk membuat citra kesesuaian, maka dibuat citra Boolean untuk kategori hutan dan non-hutan. Dari citra Boolean ini, maka dibuat citra jarak yang dibuat pada kategori hutan dan non-hutan. Citra ini menunjukkan jarak dari masing-masing piksel pada suatu kategori (Gambar 10). Dari citra jarak ini, maka citra kesesuaian dibuat berdasarkan dua citra jarak ini (Gambar 11). Citra kesesuaian ini menunjukkan nilai 0-255. Nilai tertinggi yaitu 255 menunjukkan bahwa daerah tersebut

memiliki kesesuaian yang tertinggi, dan begitu pula sebaliknya untuk nilai terendah.

Gambar 10. Jarak (m) untuk Tutupan (a) Hutan dan (b) Non-hutan pada Tahun 2000

Gambar 11. Kesesuaian untuk Tutupan (a) Hutan dan (b) Non-hutan pada Tahun 2000

Selanjutnya, dalam pemodelan ini juga diperlukan penentuan jendela filter. Hal ini dilakukan untuk menentukan seberapa banyak piksel di sekitar yang dipertimbangkan dalam penentuan kategori. Pada akhirnya, model prediksi dilakukan dengan masukan berupa matriks transisi area, citra kesesuaian, dan penentuan jendela filter. Pada kajian ini digunakan filter 5 x 5.

Gambar 12. Prediksi Tutupan Hutan Tahun 2005 dengan Model *Cellular Automata*

3.2.3. GEOMOD

Sama halnya dengan model CA_Markov, GEOMOD juga mempertimbangkan citra kesesuaian dan jumlah piksel di sekitar dalam pemodelannya. Citra kesesuaian merupakan gabungan dari citra jarak yang dibuat dari faktor-faktor pendorong yang telah ditentukan sebelumnya. Penggabungan beberapa citra jarak tersebut dilakukan dengan menggunakan *Multi Criteria Evaluation* (MCE).

Faktor-faktor pendorong yang dipilih meliputi jarak menuju hutan dimana daerah yang dekat dengan hutan merupakan daerah yang rentan berubah menjadi non-hutan. Faktor lain yang dipilih adalah jarak menuju lahan kosong, semak belukar, dan lahan pertanian. Faktor ini dipilih karena banyak konversi hutan menjadi lahan-lahan tersebut. Faktor pendorong lainnya adalah jarak menuju jalan dan jarak menuju sungai. Hasil dari citra jarak dapat dilihat pada Gambar 13, dan citra kesesuaian pada Gambar 14. Dari hasil penggabungan citra kesesuaian ini maka digunakan untuk pemodelan GEOMOD dengan hasil seperti pada Gambar 16.

Gambar 13. Jarak (m) dari Faktor-faktor yang Berpengaruh pada Tahun 2000

Gambar 15. Gabungan dari Citra Kesesuaian

Gambar 16. Prediksi Tutupan Hutan Tahun 2005 dengan Model GEOMOD

Gambar 14. Kesesuaian dari Faktor-faktor yang Berpengaruh pada Tahun 2000

3.2.4. Validasi

Hasil perbandingan tiga model prediksi menunjukkan *Stochastic Markov model* memiliki nilai *Kappa index* sebesar 0,5620; CA_Markov memiliki nilai 0,8386; dan GEOMOD memiliki nilai 0,9131. GEOMOD memberikan hasil yang lebih baik dari dua model yang lainnya. Dari observasi visual pada Gambar 17 yang merupakan tumpang susun antara citra prediksi di tahun 2005 dan citra referensi menunjukkan GEOMOD memiliki eror yang paling sedikit, sedangkan *Stochastic model* memiliki banyak eror.

Gambar 17. Peta Perbandingan Hasil Prediksi Tahun 2005 dan Referensi untuk Model (a) *Stochastic Markov*, (b) CA_Markov, dan (c) GEOMOD

IV. KESIMPULAN

1. Informasi penutup lahan dapat diperoleh dari citra Landsat dengan tingkat akurasi yang medium. Namun demikian karena panjang gelombang citra Landsat yang pendek, perekaman pada citra sangat terganggu oleh tutupan awan.
2. Tutupan hutan berkurang sebanyak 1% antara tahun 1996 dan 2000, dan turun lebih tajam sekitar 5% dari tahun 2000 dan 2005. Secara keseluruhan, hutan turun sekitar 6% antara tahun 1996 dan 2005.
3. Hasil perbandingan dari tiga jenis model dalam memprediksi perubahan tutupan hutan menghasilkan GEOMOD sebagai salah satu model terbaik dalam memprediksi perubahan tutupan hutan.
4. Karena GEOMOD hanya dapat bekerja pada satu transisi yaitu penambahan atau pengurangan satu kategori, maka model CA_Markov dapat dipertimbangkan bila akan melakukan pemodelan dengan beberapa kategori.

DAFTAR PUSTAKA

- De Fries, R., F. Achard, S. Brown, M. Herold, D. Murdiyarso, B. Schlamadinger and C.d. Souza Jr. 2006. Reducing Greenhouse Gas Emissions from Deforestation in Developing Countries: Considerations for Monitoring and Measuring. Report of the Global Terrestrial Observing System (GTOS) number 46. GOF-C-GOLD report 26.
- Denman, K.L., G. Brasseur, A. Chidthaisong, P. Ciais, P.M. Cox, R.E. Dickinson, D. Hauglustaine, C. Heinze, E. Holland, D. Jacob, U. Lohmann, S. Ramachandran, L.d.S.D. Pedro, S.C. Wofsy and X. Zhang. 2007. Couplings between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. UK.
- Eastman, J. 2009. IDRISI Taiga Guide to GIS and Image Processing. Massachusetts, USA: Clark University.
- Eastman, J. 2009b. IDRISI Taiga Tutorial. Massachusetts, USA: Clark University.
- FAO. 2005. FRA 2005 - Global Table. [terhubung berkala] <http://www.fao.org/forestry/32033/en/> [3 Juni 2011].
- FAO. 2007. Brief of National Forest Inventory (NFI) of Indonesia. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. 2015. Global Forest Resources Assessment 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Lillesand, T. and R. Kiefer. 2000. Remote Sensing and Image Interpretation. New York, USA: John Wiley and Sons, Inc.
- Melati, D.N. 2012. Spatio-Temporal data modelling in response to deforestation monitoring (a case study of small region in Riau Province, Indonesia). Master Thesis. Master of Science in Geospatial Technologies. New University of Lisbon, University Jaume I Castellon, and University of Muenster.
- Metz, B., O. Davidson, P. Bosch, R. Dave and L. Meyer. 2007. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Pachauri, R. and A. Reisinger. 2007. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva.
- Pontius, R. and H. Chen. 2006. Land Change Modeling with GEOMOD. Clark University.
- Pontius, R. and J. Malanson. 2005. Comparison of the structure and accuracy of two land change models. International Journal of Geographical Information Science, 19(2), 243-265.
- Uryu, Y., C. Mott, N. Foad, K. Yulianto, A. Budiman, F.T. Setiabudi, S. Nursamsu, E. Purastuti, N. Fadhli, C.M.B. Hutajulu and J. Jaenicke. 2008. Deforestation, Forest Degradation, Biodiversity Loss and CO₂ Emissions in Riau, Sumatra, Indonesia. WWF Indonesia, Jakarta.
- USGS. 2010. U.S. Geological Survey. [terhubung berkala] http://landsat.usgs.gov/products_product_information.php [14 Desember 2011].
- World Bank. 2006. Sustaining Economic Growth, Rural Livelihoods, and Environmental Benefits: Strategic Options for Forest Assistance in Indonesia. The World Bank.