

SIMULASI PENGARUH PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP KOMPONEN FLUKS RADIASI DAN PARAMETER PERMUKAAN DI PROVINSI JAMBI MENGGUNAKAN MODEL IKLIM REGIONAL REGCM4

Dodo Gunawan

Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG, Jakarta

Email: dodo.gunawan@bmkgo.id

Naskah masuk: 10 Agustus 2012; Perbaikan terakhir: 11 Desember 2012 ; Naskah diterima: 21 Desember 2012

ABSTRAK

Model iklim regional RegCM4 telah digunakan untuk mempelajari dampak perubahan penggunaan lahan (land use) terhadap variabilitas komponen fluks radiasi dan parameter permukaan. Data penggunaan lahan tahun 2000 dan tahun 2010 digunakan sebagai data permukaan untuk kondisi batas (boundary condition) model. Dua jenis simulasi dijalankan untuk menunjukkan pengaruh perubahan penggunaan lahan pada dua periode tersebut. Simulasi pertama adalah kondisi awal atmosfer tahun 2010 disimulasikan dengan data penggunaan lahan tahun 2010 sebagai kondisi penggunaan lahan terkini, dan simulasi kedua adalah kondisi atmosfer tahun 2010 yang menggunakan data penggunaan lahan tahun 2000. Perbedaan nilai parameter komponen fluks radiasi dan permukaan antara dua simulasi tersebut menunjukkan pengaruh perubahan penggunaan lahan. Hasil perbandingan parameter seperti kandungan air dan suhu tanah menunjukkan adanya pengaruh perubahan jenis penggunaan lahan. Lahan akibat deforestasi yang sudah banyak terbuka seperti pada kondisi tahun 2010 telah mengakibatkan radiasi matahari banyak diserap permukaan dan dirubah menjadi radiasi gelombang panjang yang memanaskan permukaan. Hal ini ditunjukkan dengan tingginya suhu tanah maksimum dan rendahnya kandungan air tanah pada kondisi penggunaan lahan tahun 2010.

Kata kunci : model iklim, RegCM4, fluks radiasi, perubahan penggunaan lahan, deforestasi

ABSTRACT

The climate model RegCM4 has been used to study the impact of land use change (LUC) on the energy flux and surface parameters. The LUC of 2000 and 2010 has been used as the boundary condition. Two simulations have performed to show the impact of LUC. The first simulation is using the atmosphere and land use of 2010 as the current condition. The second one is using the same as the 1st simulation but using the land use of 2000. The difference of radiation flux and surface parameters are due to the impact of LUC. The comparison results of the flux radiation and surface parameters have proven as the impact of LUC. The deforested land with more open areas as in the land use of 2010 caused more radiation absorbed by surface. These finding revealed by the increase of the soil temperature and the decrease of the soil water content.

Keywords: climate model, RegCM4, flux radiation, land use change, deforestation.

1. Pendahuluan

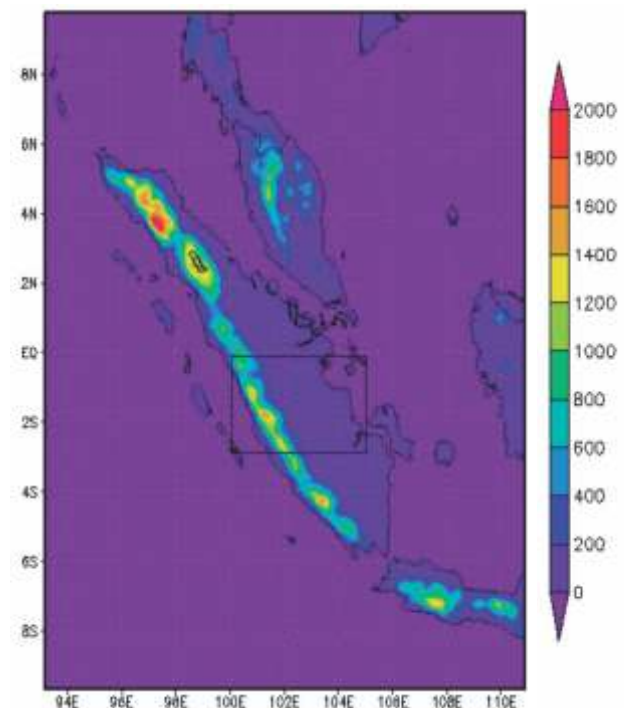
Perubahan penggunaan lahan dan lebih spesifik deforestasi terhadap hutan yang ada di seluruh Indonesia menunjukkan perubahan yang sangat cepat sepanjang kurun waktu 20 tahun terakhir. Perubahan tersebut dapat jelas terlihat dari foto satelit. Menurut Hansen et al.[1] laju deforestasi di Indonesia saat ini adalah 3.4% per tahun yang merupakan urutan kedua terbesar setelah Brasil. Bentuk deforestasi mulai dari perubahan hutan untuk perkebunan, pertanian, hutan industri kertas (pulp), penambangan hingga pembalakan liar. Di kawasan hutan adat Lekuk 50 Tumbi (Lempur) Kabupaten Kerinci provinsi Jambi sebagaimana hasil penelitian Kolanus [2], perubahan tutupan hutan menjadi jenis tutupan lain bukan hutan dalam kurun waktu 20 tahun (dari tahun 1988 sampai 2008) terjadi penurunan luas hutan sebesar 12.21%. Menurut Munandar [3] di provinsi Jambi selama kurun waktu sepuluh tahun (dari tahun 1990 sampai 2000) telah terjadi pengurangan luas tutupan lahan hutan sebesar 20.31%. Hutan di dataran rendah (rawa) tercatat mengalami pengurangan lebih besar (11.37%) dibandingkan dengan hutan di pegunungan (8.94%). Konversi hutan di wilayah Jambi sebagian besar dialihkan ke tanaman kelapa sawit dan Hutan Tanaman Industri (HTI).

Perubahan struktur tajuk hutan alami ke suatu tanaman monokultur seperti kelapa sawit, HTI atau karet akan merubah keseimbangan massa dan energi, yang secara berantai dapat merubah kondisi biotik dan abiotik ekosistem tersebut. Dampak tersebut diantaranya perubahan siklus hidrologi, geomorfologi, perubahan tingkat kesuburan tanah, keaneka ragaman hayati serta terhadap kondisi atau variabilitas parameter atmosfer. Dampak perubahan penggunaan lahan selain dapat diukur langsung di lapangan, dapat juga dikaji dengan menggunakan beberapa model seperti model ekologi, model atmosfer (model iklim), model hidrologi dan model permukaan.

Beberapa penelitian penggunaan model untuk melihat dampak perubahan penggunaan lahan diantaranya Voldoire and Royer [4] yang telah melakukan eksperimen deforestasi menggunakan model sirkulasi global ARPEGE-Climate untuk mempelajari dampak deforestasi terhadap variabilitas unsur atmosfer termasuk keseimbangan energi di kawasan hutan Amazon Amerika Selatan dan kawasan hutan di Afrika. Findell and Knutson [5] melakukan simulasi menggunakan model Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) atmosfer-darat yang dikopel dengan model laut untuk meneliti perubahan deforestasi hutan tropis terhadap variabel atmosfer. Pada simulasi tersebut seluruh hutan tropis berdaun lebar dirubah menjadi padang rumput dan pengaruhnya ditinjau hingga ke luar wilayah tropik. Kajian dampak deforestasi terhadap parameter hidrologi seperti *stream flow* telah dilakukan oleh Coe et al.[6] yang melakukan penelitian di sungai Araguaia, Brazil menggunakan model permukaan dan

vegetasi IBIS (*Integrated Biosphere Simulator*) dan model transpor hidrologi THMB (*Terrestrial Hydrological Model with Biogeochemistry*). Penelitian dampak perubahan penggunaan lahan terhadap fluks keseimbangan energi (partisi energi) pada kawasan hutan Igarape-Acu (Brazil) dan Pang Khum (Thailand) telah dilakukan oleh Giambelluca et al.[7].

Simulasi dampak perubahan penggunaan lahan menggunakan model iklim regional terhadap variabilitas unsur atmosfer di wilayah Jambi khususnya dan wilayah Indonesia secara umum dengan menggunakan data real jenis penggunaan lahan pada periode yang berbeda masih belum banyak dilakukan. Gunawan dkk.[8] melakukan simulasi menggunakan model iklim RegCM4 untuk wilayah Indonesia tentang perubahan penggunaan lahan yang menentukan pengurangannya secara asumsi menjadi 25%, 50%, 75% dari data jenis penggunaan lahan yang sudah terdapat pada model. Penelitian ini bertujuan mempelajari dampak perubahan penggunaan lahan terhadap variabilitas fluks energi radiasi di atmosfer dan permukaan. Hipotesa penelitian ini adalah bahwa perubahan jenis penggunaan lahan dapat mengakibatkan perubahan terhadap parameter atmosfer dan permukaan. Ruang lingkup penelitian dibatasi pada wilayah Jambi, namun wilayah model (*model domain*) untuk keperluan teknik simulasi mencakup seluruh Sumatera (Gambar 1). Kurun waktu kajian variabilitas unsur atmosfer adalah tahun 2010 dan kurun waktu perubahan penggunaan lahan adalah untuk tahun 2010 dan 2000.



Gambar 1. Peta ketinggian (dalam meter) wilayah model (*model domain*). Gambar kotak di tengah menunjukkan provinsi Jambi sebagai wilayah kajian.

2. Bahan dan Metode

2.1. Data

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini berupa data penggunaan lahan wilayah Jambi dari foto satelit landsat untuk dua periode yaitu tahun 2000 dan 2010. Data jenis penggunaan lahan ini diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Untuk inisiasi simulasi, data parameter atmosfer yang digunakan berupa data reanalisis dari National Center Environmental Prediction, USA (NCEP) dengan resolusi waktu setiap 6 jam untuk tahun 2000 dan 2010. Alat yang digunakan untuk simulasi adalah tiga buah komputer desktop quatro-core yang telah di jadikan satu sistim komputasi (cluster) untuk menjalankan model RegCM4 secara paralel.

2.2. Metoda

Untuk melihat pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap variasi unsur atmosfer dilakukan dua simulasi menggunakan model iklim regional RegCM versi 4. Simulasi pertama menggunakan data penggunaan lahan tahun 2010 dengan kondisi atmosfer tahun 2010. Simulasi ini menunjukkan kondisi real variabel atmosfer dengan kondisi penggunaan lahan terkini. Simulasi kedua adalah penggunaan lahan tahun 2000 dengan data atmosfer tahun 2010. Analisa dari dua simulasi ini dengan pengurangan secara spasial simulasi pertama dengan simulasi kedua dari beberapa parameter fluks energi radiasi permukaan dan atmosfer menunjukkan pengaruh dari perubahan penggunaan lahan. Parameter yang akan dianalisa meliputi komponen pada fluks energi yaitu fluks insiden radiasi matahari, fluks netto radiasi gelombang panjang, fluks panas teras, suhu dan kandungan air tanah. Hasil analisa tersebut ditampilkan secara spasial untuk wilayah provinsi Jambi serta tinjauan pada salah satu titik (grid) untuk menunjukkan variasi temporal baik harian (*diurnal*) maupun variasi secara bulanan (musim).

2.3. Setting Model

Model RegCM4 untuk simulasi ini di setting sebagai berikut ; persamaan dinamika atmosfer dan diskretisasi numeriknya didasarkan pada penelitian yang dilakukan Grell et al. [9]. Parameter fisik diterapkan pada model dalam bentuk parametrisasi. Untuk parametrisasi fisik radiasi digunakan skema radiasi CCM3 NCAR sebagaimana yang dijelaskan oleh Kiehl et al. [10]. Fisik permukaan di darat dimodelkan menggunakan skema perpindahan antara biosfer dan atmosfer yang dikenal dengan skema BATS (*Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme*). Model BATS adalah model paket permukaan tanah yang dirancang untuk menjelaskan peran vegetasi dan kelembaban tanah yang interaktif serta di modifikasi untuk proses pertukaran momentum permukaan, energi, dan uap air. Model ini secara terperinci diuraikan dalam Dickinson et al. [11]. Model ini memiliki lapisan vegetasi, lapisan salju, lapisan tanah permukaan, tebal 10 cm, atau

zona lapisan akar, 1-2 m, dan tanah lapisan ketiga setebal 3 m. Persamaan prognos diselesaikan untuk temperatur lapisan tanah menggunakan generalisasi dari metode *force-restore* atau disebut dengan metode Deardoff [12].

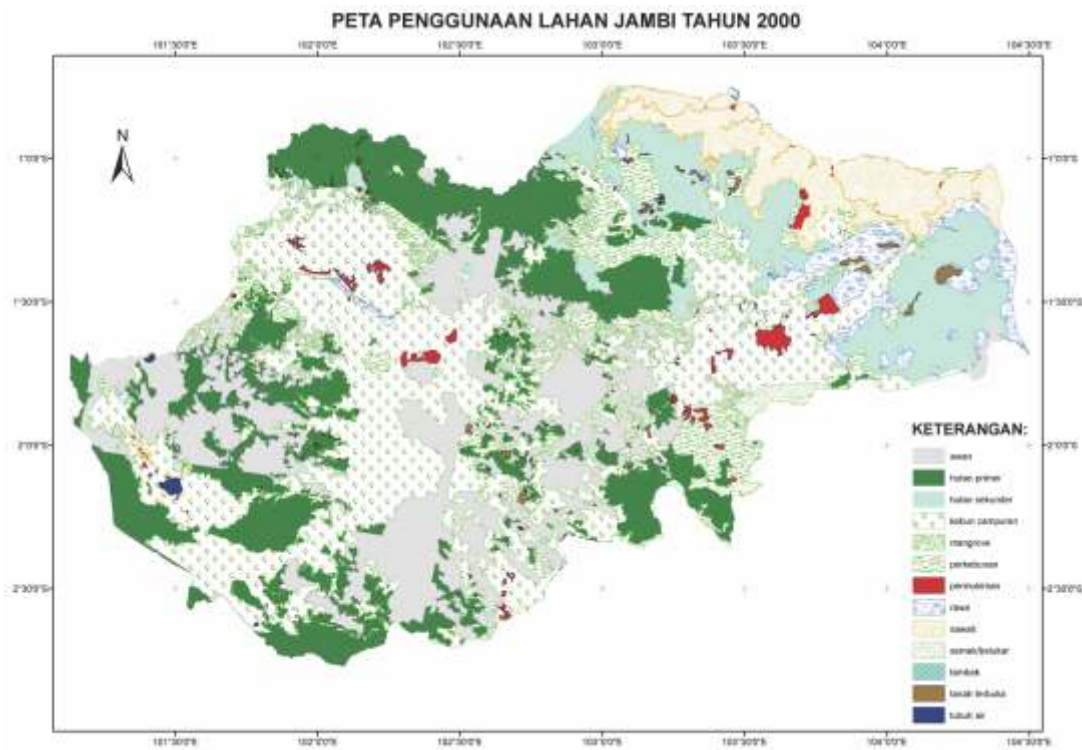
Selanjutnya skema parameter tentang lapisan batas planeter (*Planetary Boundary Layer Scheme*) diaplikasikan pada model RegCM menggunakan konsep yang dikembangkan oleh Holtslag et al. [13]. Skema parametrisasi hujan dibedakan berdasarkan proses terjadinya yakni secara konvektif dan secara skala luas (*stratiform*). Untuk skema hujan konvektif terdapat tiga pilihan berdasarkan hasil beberapa peneliti, dan pada simulasi ini digunakan skema Kuo [14]. Untuk parametrisasi hujan skala luas digunakan skema *Subgrid Explicit Moisture Scheme* (SUBEX). Deskripsi tentang SUBEX secara detail diuraikan dalam Pal et al. [15]. Skema parametrisasi yang menyangkut permukaan air dibedakan dalam skema fluks laut dan skema danau. Untuk fluks laut digunakan skema BATS yang menggunakan teori hubungan kesamaan Monin-Obukhov, sementara skema danau menggunakan model danau yang dikembangkan oleh Hostetler et al. [16]. Deskripsi secara keseluruhan tentang model RegCM4 dapat dilihat pada Giorgi et al. [17].

3. Hasil dan Pembahasan

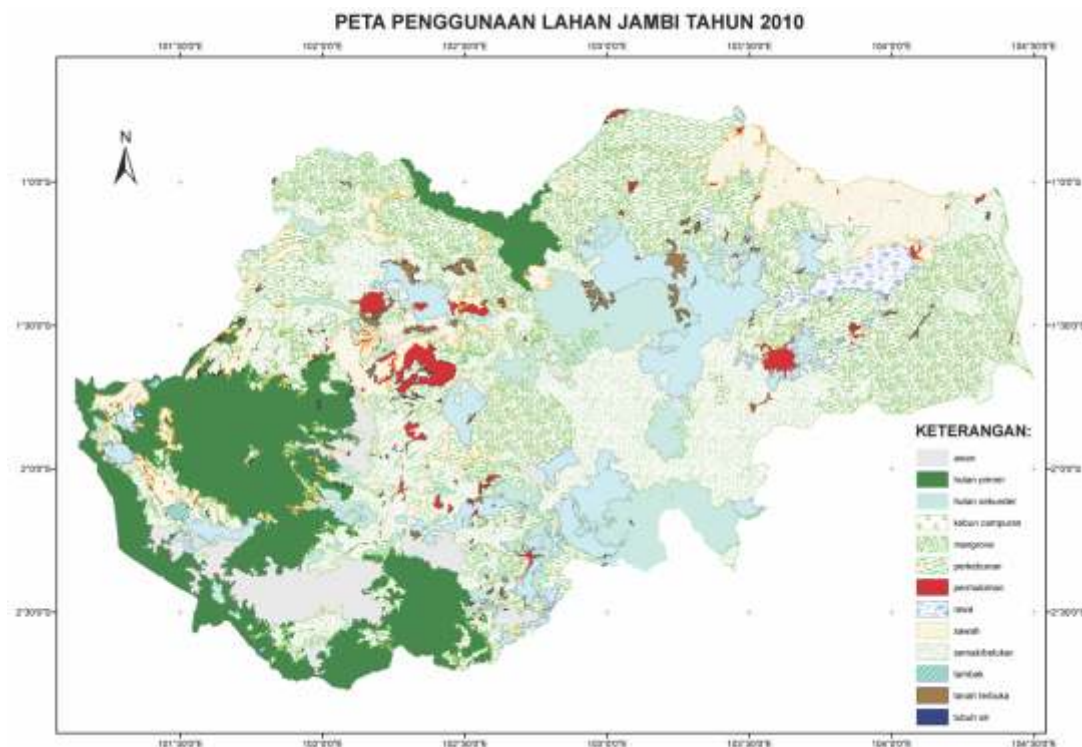
Peta jenis penggunaan lahan untuk tahun 2000 dan 2010 provinsi Jambi dapat dilihat pada Gambar 2. Di wilayah Jambi bagian utara yaitu di kabupaten Tanjung Jabung Barat dan Kabupaten Tebo perubahan penggunaan lahan terbanyak adalah dari hutan primer menjadi hutan sekunder dan mangrove. Di bagian timur provinsi tepatnya di kabupaten Tanjung Jabung Timur dan Muarojambi hutan sekunder telah berubah menjadi lahan perkebunan dan hutan mangrove. Di kabupaten Batang Hari perubahan penggunaan lahan yang dominan adalah dari kebun campur menjadi semak belukar dan permukiman.

Perubahan penggunaan lahan tersebut telah mengakibatkan perubahan komponen fluks energi dan variabel permukaan. Pembahasan berikut menunjukkan pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap fluks radiasi matahari dan radiasi gelombang panjang yang di pancarkan oleh permukaan.

(a)



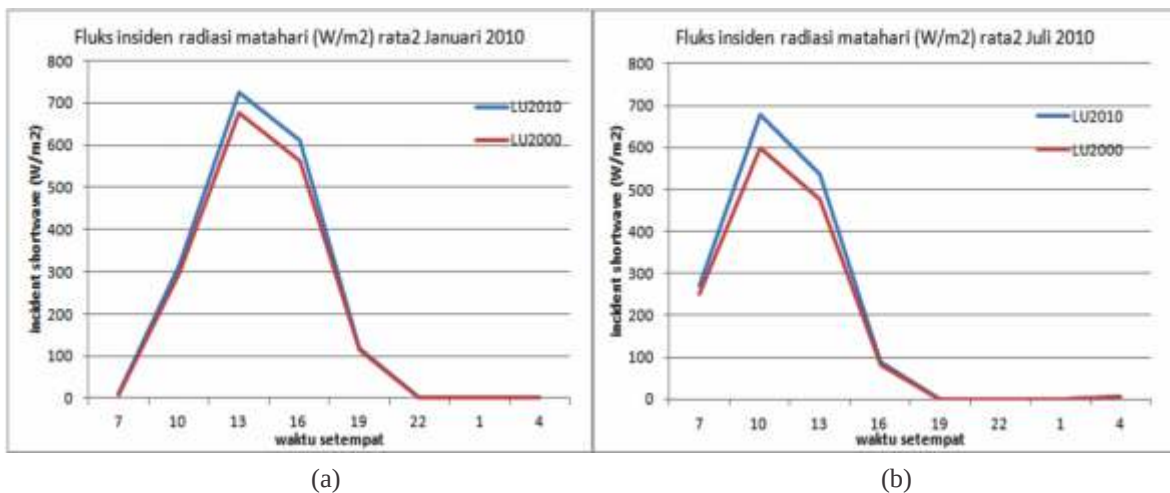
(b)



Gambar 2. Peta penggunaan lahan di provinsi Jambi tahun 2000 (a) dan tahun 2010 (b). Sumber BIG, (2012)

Komponen utama dari neraca energi adalah fluks insiden radiasi matahari berupa radiasi gelombang pendek. Hasil simulasi model RegCM4 di wilayah Jambi menunjukkan adanya perbedaan insiden radiasi matahari pada jenis penggunaan lahan yang berbeda sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 3. Jumlah insiden radiasi matahari pada kondisi penggunaan lahan tahun 2010 lebih tinggi dibanding kondisi tahun 2000. Hal ini dikarenakan

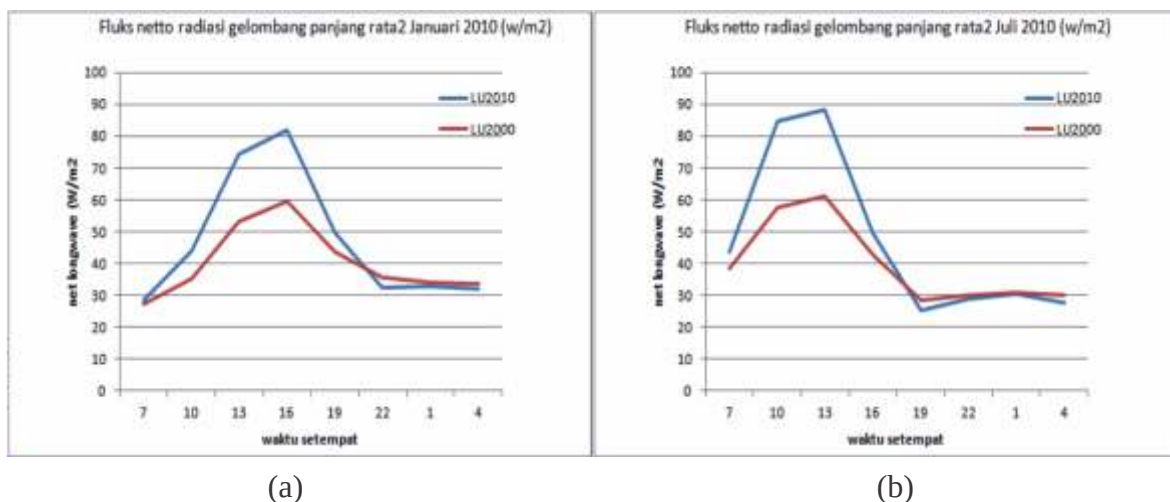
deforestasi menurunkan tingkat kelengasan atmosfer dan dengan demikian juga tingkat keawanan sehingga insiden radiasi di permukaan menjadi lebih besar. Perbedaan besarnya nilai insiden radiasi antara Januari dan Juli lebih disebabkan karena sifat elips lintasan bumi mengelilingi matahari, dimana nilai konstanta matahari sebesar 1367 W/m² berfluktuasi dari 1412 W/m² pada bulan Januari dan 1321 W/m² di bulan Juli.



Gambar 3. Fluks insiden radiasi matahari rata-rata bulan Januari 2010 (a) dan Juli 2010 (b).

Insiden radiasi matahari selanjutnya mencapai permukaan bumi dan dipancarkan kembali dalam bentuk radiasi gelombang panjang. Bila penutupan lahan semakin berkurang, maka radiasi gelombang panjang akan semakin meningkat karena panas laten untuk evaporasi tajak berkurang. Hal ini ditunjukkan pada

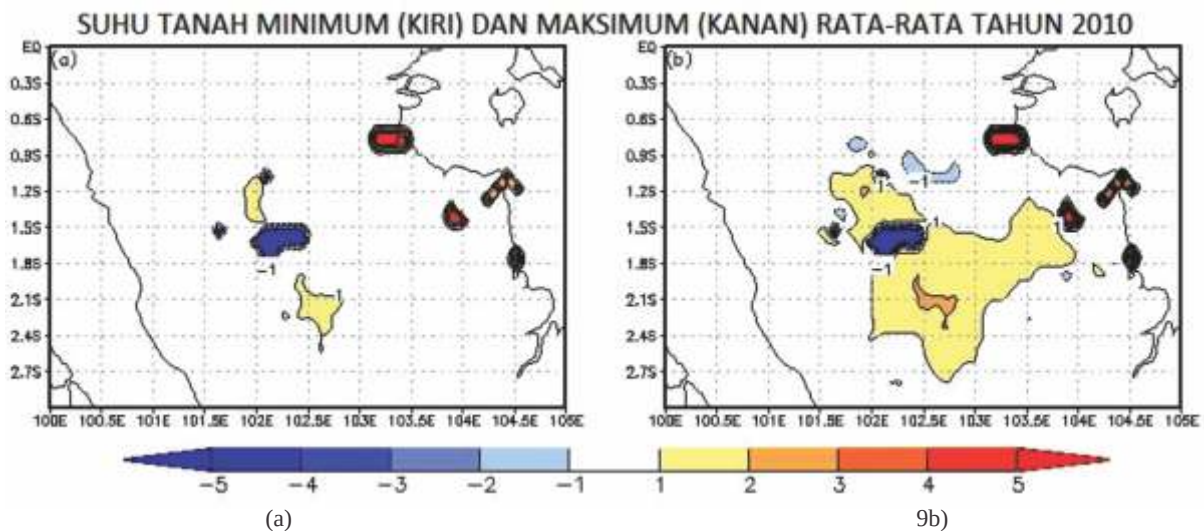
Gambar 4 dimana kondisi penggunaan lahan 2010 mengakibatkan fluks netto radiasi gelombang panjang lebih tinggi dibanding kondisi penggunaan lahan tahun 2000. Secara temporal bulan Januari dan Juli memperlihatkan kondisi yang tidak banyak berbeda.



Gambar 4. Pengaruh perubahan penggunaan lahan tahun 2010 dan 2000 terhadap fluks netto radiasi gelombang panjang rata-rata pada bulan Januari 2010 (a) dan Juli 2010 (b).

Fluks netto radiasi gelombang panjang yang tinggi akibat deforestasi ini kemudian digunakan untuk memanaskan permukaan yang lebih banyak terbuka. Akibatnya suhu di permukaan tanah menjadi meningkat dibandingkan kondisi penggunaan lahan tahun 2000 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Dari gambar tersebut tampak bahwa suhu minimum (a) dan suhu maksimum

permukaan tanah (b) pada kondisi penggunaan lahan tahun 2010 lebih tinggi dibanding kondisi penggunaan lahan tahun 2000. Pada gambar peta distribusi penyimpangan suhu tanah, terdapat wilayah yang memiliki arah penyimpangan berlawanan. Wilayah tersebut bila disesuaikan dengan Gambar 2 adalah daerah permukiman.

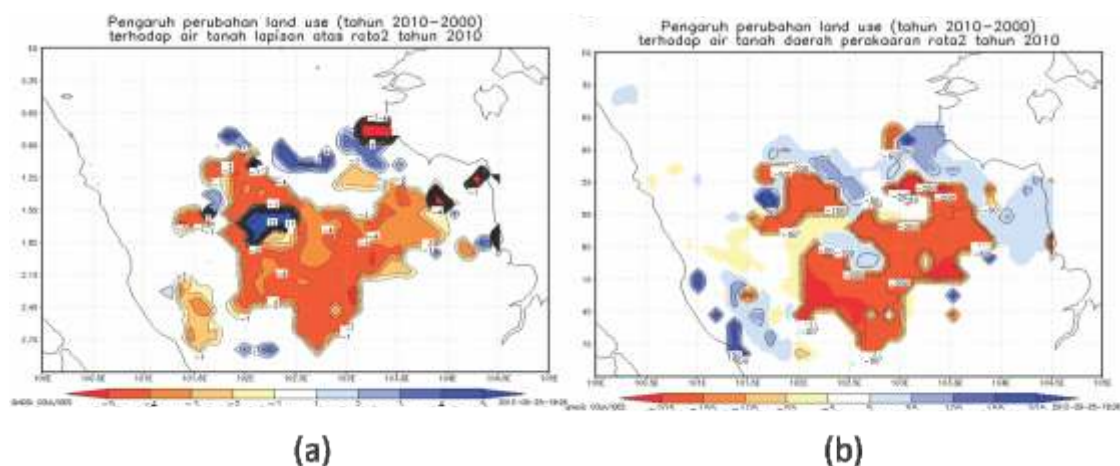


Gambar 5. Pengaruh perubahan penggunaan lahan tahun 2010 dan 2000 terhadap suhu tanah minimum (a) dan maksimum (b) rata-rata tahun 2010 di provinsi Jambi.

Selanjutnya dengan suhu tanah yang semakin meningkat maka penguapan akan semakin mudah terjadi dan kandungan air tanah dengan demikian menjadi semakin berkurang. Kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 6 yang menunjukkan kandungan air tanah di permukaan hingga kedalaman daerah perakaran lebih rendah pada kondisi penggunaa lahan tahun 2010 dibandingkan tahun 2000. Tampak juga bahwa secara spasial penurunan kandungan air tanah di permukaan lebih merata di seluruh daerah

kajian dibandingkan dengan perubahan pada kedalaman perakaran.

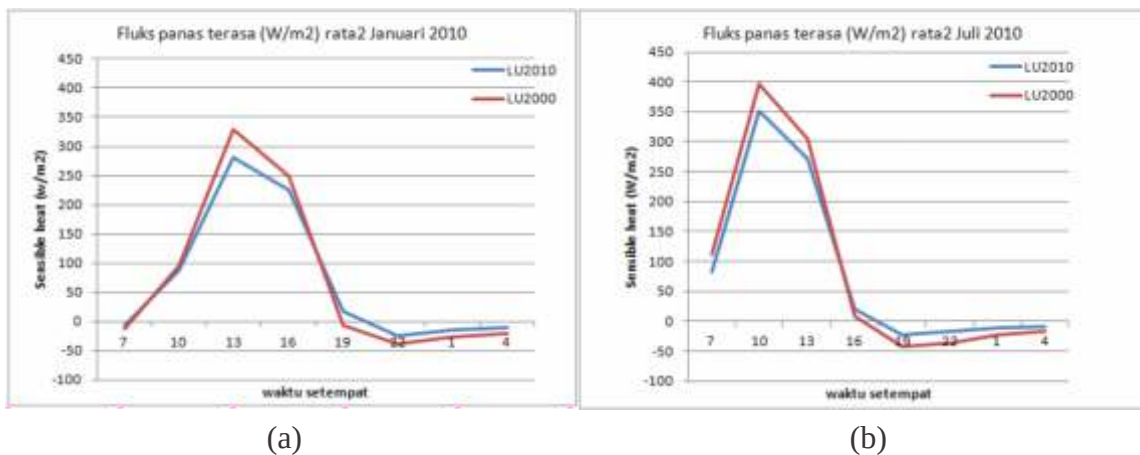
Seperti pada distribusi suhu tanah (Gambar 5), pada peta distribusi kandungan air tanah di permukaan (Gambar 6a) terdapat tanda penyimpangan yang berlawanan dengan pola penyimpangan sebagian besar wilayah dan daerah tersebut merupakan permukiman.



Gambar 6. Pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap kandungan air tanah di lapisan atas (a) dan lapisan kedalaman perakaran (b) rata-rata tahun 2010

Secara konseptual sebagaimana yang dikemukakan Snyder et al. [18], pengurangan vegetasi hutan tropis dapat mengakibatkan menurunnya fluks panas teras karena menurunnya evapotranspirasi dan meningkatnya albedo permukaan. Sebaliknya pengurangan vegetasi hutan di lintang tinggi belahan bumi utara justru merurunkan fluks panas teras akibat dari menurunnya fluks radiasi netto di permukaan yang juga diakibatkan oleh meningkatnya albedo. Pada penelitian di wilayah Jambi ini kondisi fluks panas teras yang diperoleh menunjukkan kondisi seperti yang terjadi di hutan lintang tinggi. Fluks panas teras untuk bulan Januari dan Juli 2010 di sajikan pada Gambar 7. Dari gambar tersebut terlihat bahwa radiasi matahari yang digunakan untuk

memanaskan atmosfer lebih banyak pada bulan Juli dibanding Januari. Hal ini dikarenakan bulan Juli di wilayah penelitian sedang berada pada monsoon kering Australia sehingga atmosfer lebih cepat memanaskan dibanding bulan Januari. Waktu tercapainya nilai fluks tinggi juga menunjukkan atmosfer lebih cepat memanaskan di bulan Juli yaitu jam 11.00 dibanding bulan Januari yang mencapai nilai panas tinggi pada jam 13.00. Pengaruh perubahan penutupan lahan menunjukan bahwa fluks panas teras lebih tinggi pada kondisi penggunaan lahan tahun 2000 dibanding tahun 2010. Bentuk vegetasi tahun 2000 dengan demikian masih tetap menghasilkan porsi panas teras lebih tinggi di bandingkan dengan bentuk vegetasi tahun 2010.



Gambar 7. Fluks panas teras rata-rata Januari (a) dan Juli 2010 (b) pada dua periode tutupan lahan yaitu tahun 2010 dan 2000.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Kajian pengaruh perubahan penggunaan lahan melalui simulasi menggunakan model iklim regional RegCM4 di wilayah Jambi menyimpulkan bahwa kondisi penggunaan lahan yang berbeda telah menyebabkan perubahan komposisi fluks radiasi dan perubahan karakteristik permukaan. Suhu tanah minimum dan maksimum meningkat pada kondisi penggunaan lahan tahun 2010. Keadaan ini diikuti dengan berkurangnya kandungan air tanah di permukaan hingga kedalaman perakaran. Fluks netto radiasi gelombang panjang lebih tinggi pada kondisi penggunaan lahan tahun 2010. Perbedaannya mencapai 20 W/m² di bulan Januari dan mencapai 30 W/m² di bulan Juli 2010. Secara temporal bulanan, bulan Juli lebih tinggi dibanding Januari, sedangkan secara diurnal puncak fluks Juli terjadi pada jam 14.00 sedangkan pada Januari nilai tertinggi tercapai pada jam 16.00 waktu setempat. Variasi bulanan fluks insiden radiasi matahari tidak menunjukkan nilai yang tinggi, sedangkan variasi diurnal bulan Januari mencapai nilai puncak jam 13.00 sedangkan Juli mencapai nilai tertinggi jam 11.00 waktu setempat. Model iklim regional RegCM4 dengan resolusi 10 km pada penelitian ini dapat menjelaskan proses fisik yang terjadi baik dipermukaan maupun di atmosfer akibat dari perubahan komponen permukaan (penggunaan lahan).

4.2 Saran

Untuk kajian selanjutnya tentang pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap variabilitas unsur iklim dan parameter permukaan, perlu dilanjutkan dengan menambah data penggunaan lahan tidak hanya wilayah kajian dalam hal ini provinsi Jambi. Pada kajian ini domain model adalah seluruh pulau Sumatera, maka perlu dicoba simulasi seluruh penggunaan lahan pulau Sumatera diganti oleh data tahun 2000 dan 2010. Bila perubahan penggunaan lahan ini nantinya menghasilkan perbedaan terhadap parameter atmosfer dan permukaan, maka untuk penggunaan model RegCM selanjutnya, jenis

penggunaan lahannya adalah data kondisi terakhir dalam hal ini tahun 2010.

Daftar Pustaka

- [1] Hansen, M., S.V. Stehman, P.V Potapov, Arunarwati B, F.Stolle and K.Pittman. 2009. Quantifying changes in the rates of forest clearing in Indonesia from 1990 to 2005 using remotely sensed data sets *Environ. Res. Lett.* **4**, doi:10.1088/1748-9326/4/3/034001.
- [2] Kolanus, F. 2011. Analisis Perubahan Penutupan Lahan di Hutan Adat Lekuk 50 Tumbi (Lempur), Kabupaten Kerinci Provinsi Jambi. Skripsi. Departemen Konversi Sumber Daya Hutan dan Ekowisata. Fakultas Kehutanan. IPB.
- [3] Munandar, Arif., 2012. (http://www.jambi-independent.co.id/jio/index.php?option=com_content&view=article&id=16135:sejuta-hektare-hutan-jambi-hilang&catid=7:sosial&Itemid=9). Diunduh tgl 2 Oktober 2012).
- [4] Voldoire, A. And J.F.Royer. 2004. Tropical Deforestation and Climate Variability. *Climate Dynamics* (22) : 857 – 874.
- [5] Findell, K.L and T.R. Knutson. 2006. Weak Simulated Extratropical Response to Complete Tropical Deforestation. *Journal of Climate* (19) : 2835 – 2850.
- [6] Coe, M.T., E.M. Latrubesse, M.E. Ferreira, M.L. Amsler. 2011. The effect of Deforestation and Climate Variability on the streamflow of the Araguaia River, Brazil. *Biogeochemistry* DOI 10.1007/s10533-011-9582-2.
- [7] Giambelluca, T.W., M.A. Nullet, A.D. Ziegler and L. Tran. 2000. Latent and Sensible Energy Flux over Deforested Land Surfaces in the Eastern Amazon and Northern Thailand. *Singapore Journal of Tropical geography*. 21(2): 107-130.
- [8] Gunawan, D., Kadarsah, I.P. Pudja, E. Aldrian, A. Munawar, Siswanto, R. Satyaningsih,

- Endarwin dan K.E.Komalasari. 2011. Kajian interaksi laut-atmosfer-daratan di atas benua maritim. Laporan Tahunan Hasil Penelitian. Puslitbang BMKG. Jakarta.
- [9] Grell, G. A., J. Dudhia, & D. R. Stauffer, (1994). Description of the fifth generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5), *Tech. Rep. TN-398+STR*, NCAR, Boulder, Colorado, 121. 52.
- [10] Kiehl, J. T., J. J. Hack, G. B. Bonan, B. A. Boville, B. P. Breigleb, D. Williamson, & P. Rasch, (1996). Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3), *Tech. Rep. NCAR/TN-420+STR*, National Center for Atmospheric Research.
- [11] Dickinson, R. E., A. Henderson-Sellers, & P. J. Kennedy, (1993). Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) Version 1E as coupled to the NCAR Community Climate Model, *Tech. Rep.*, National Center for Atmospheric Research.
- [12] Deardoff, J. W., (1978). Efficient prediction of ground surface temperature and moisture with inclusion of a layer of vegetation, *J. Geophys. Res.*, 83, 1889–1903.
- [13] Holtslag, A. A. M., E. I. F. de Bruijn, & H.-L. Pan, (1990). A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting, *Mon. Wea. Rev.*, 118, 1561–1575.
- [14] Anthes, R. A., (1977). A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model, *Mon. Wea. Rev.*, 105, 270–286.
- [15] Pal, J. S., E. E. Small, & E. A. B. Eltahir, 2000. Simulation of regional-scale water and energy budgets: Representation of subgrid cloud and precipitation processes within RegCM, *J. Geophys. Res.-Atmospheres*, 105(D24), 29,579–29,594.
- [16] Hostetler, S. W., G. T. Bates, and F. Giorgi, 1993. Interactive nesting of a lake thermal model within a regional climate model for climate change studies, *Geophysical Research*, 98, 5045–5057,
- [17] Giorgi, F., E. Coppola, F. Solmon, L. Mariotti, M. B. Sylla, X. Bi, N. Elguindi, G. T. Diro, et. al. (2012). RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *Clim Res.*, 52, 7–29.
- [18] Snyder, P.K., C. Delire, & J.A. Foley. (2004). Evaluating the influence of different vegetation biomes on the global climate. *Climate Dynamics*, 23, 279–302.