

Analisis Efek Rumah Kaca di Indonesia

Indah Susanti dan Sinta Berliana Sipayung

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer – LAPAN

Jl. DR. Djundjunaan 133 Bandung

indahpl@gmail.com

s_berlianasipayung@yahoo.com

Abstrak

Telah diestimasi dan dianalisis efek rumah kaca di Indonesia yang menunjukkan efek atmosfer dalam pengurangan pendinginan oleh lepasnya gelombang panjang ke angkasa. Estimasi efek rumah kaca dilakukan berdasarkan persamaan yang diambil dari konsep transfer radiatif dengan menggunakan parameter emisi radiasi permukaan dan OLR terukur pada kondisi cerah. Berdasarkan hasil estimasi tersebut diperoleh gambaran bahwa bulan Desember, Januari dan Februari, efek rumah kaca terbesar terjadi di wilayah selatan, sedangkan pada Juni, Juli dan Agustus, efek rumah kaca terbesar terjadi di wilayah utara. Nilai efek rumah kaca rata-rata selama periode yang dikaji tertinggi ada di sekitar Sumatera, Kalimantan, dan utara Papua. Berdasarkan tren, efek rumah kaca menunjukkan adanya peningkatan, baik yang terjadi pada siang hari ataupun pada malam hari. Dan dengan menggunakan perbandingan spasial antara uap air dan efek rumah kaca, dapat diketahui bahwa efek rumah kaca mendapat kontribusi yang cukup signifikan dari adanya uap air atmosfer.

Kata kunci : Efek rumah kaca, OLR, suhu permukaan, emisivitas, radiasi.

Abstract

Greenhouse effect in Indonesia has been estimated and analyzed, which shows the effect of cooling the atmosphere in the reduction of the release of the longwaves into space. The greenhouse effect estimation is done based on the equation derived from the concept of radiative transfer using radiation emission parameters measured at the surface and OLR in clear sky conditions. Based on the estimation results obtained conclusion that in December, January and February, the largest greenhouse effect occurs in the south, while in June, July and August, the biggest greenhouse effect occurs in the northern region. The average value of the greenhouse effect in whole period, highest value was around Sumatra, Borneo, and north of Papua. Based on trends, the greenhouse effect indicates an increase, both of which occur during the day or at night. And by using spatial comparison between water vapor and greenhouse effect, it can be seen that the greenhouse effect gets significant contribution of atmospheric water vapor.

Keywords : Greenhouse effect, OLR, surface temperature, emissivity, radiation.

1. PENDAHULUAN

Matahari memberi energi pada iklim bumi, memancarkan energi pada panjang gelombang yang sangat pendek, mayoritas di bagian spektrum tampak (*visible*) atau *near-visible* (misalnya, ultraviolet). Kira-kira sepertiga dari energi matahari yang mencapai puncak atmosfer bumi terpantul langsung kembali ke angkasa. Sisanya dua pertiga diserap oleh permukaan dan, pada proporsi yang lebih kecil, oleh atmosfer. Untuk menyeimbangkan energi diserap, bumi harus memancarkan sejumlah energi kembali ke angkasa dalam jumlah yang kurang lebih sama dengan yang diterima [1]. Karena bumi jauh lebih dingin daripada matahari, maka pancaran radiasinya lebih merupakan gelombang yang lebih panjang, terutama di bagian inframerah [2].

Sebagian besar radiasi termal ini dipancarkan oleh tanah dan laut diserap oleh atmosfer, termasuk awan, dan diradiasikan kembali ke bumi. Ini disebut efek rumah kaca [3]. Dinding kaca dalam rumah kaca mengurangi aliran udara dan meningkatkan suhu udara di dalam. Secara analog, tapi melalui proses fisik yang berbeda, efek rumah kaca bumi meningkatkan permukaan planet. Tanpa efek rumah kaca alami, suhu rata-rata di permukaan bumi akan berada di bawah titik beku air. Dengan demikian, efek rumah kaca bumi alami membuat kondisi atmosfer layak untuk kehidupan di bumi [3]. Namun, aktivitas manusia, terutama pembakaran bahan bakar fosil dan penebangan hutan, telah sangat intensif mempengaruhi rumah kaca alami dan menyebabkan pemanasan global.

Beberapa studi terkait dengan pemanasan global telah banyak dilakukan. Namun lebih menekankan pada efek baliknya terhadap suhu permukaan, ataupun pada dampaknya secara tidak langsung seperti terjadinya peningkatan curah hujan. Namun studi mengenai berapa besar efek rumah kaca yang terjadi, masih sangat terbatas. Makalah ini bertujuan untuk mengidentifikasi berapa besar efek rumah kaca yang terjadi di Indonesia secara spasial, dan bagaimana pola-pola temporalnya. Dalam hal ini difokuskan pada pola temporal bulanan.

2. DATA DAN METODOLOGI

Besaran efek rumah kaca yang dibahas dalam makalah ini merupakan hasil estimasi dengan menggunakan persamaan dari konsep transfer radiatif. Dalam konsep tersebut, efek rumah kaca merujuk pada selisih dari gelombang panjang yang diemisikan oleh permukaan dengan gelombang panjang yang keluar atmosfer bumi atau yang dikenal sebagai *Outgoing longwave radiation* (OLR), dengan kata lain efek rumah kaca menunjukkan besaran radiasi yang terjebak di atmosfer [4]. Untuk mengetahui berapa besarnya emisi radiasi dari permukaan, digunakan persamaan/hukum Stefan-Boltzmann, dimana emisi merupakan emisivitas permukaan bumi dikali dengan pangkat 4 dari suhu permukaan [5].

Definisi efek rumah kaca atmosfer (dilambangkan sebagai G_a) mengikuti definisi klasik yang menunjukkan efek atmosfer dalam mengurangi pendinginan yang disebabkan lepasnya gelombang panjang ke angkasa, Terminologi G_a ini ditentukan sebagai $G_a = E - F_c$, dengan F_c adalah OLR terukur pada kondisi cerah, dan E adalah emisi dari permukaan, dimana untuk benda hitam sama dengan σT_s^4 dengan $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ dan T_s adalah temperatur permukaan [3].

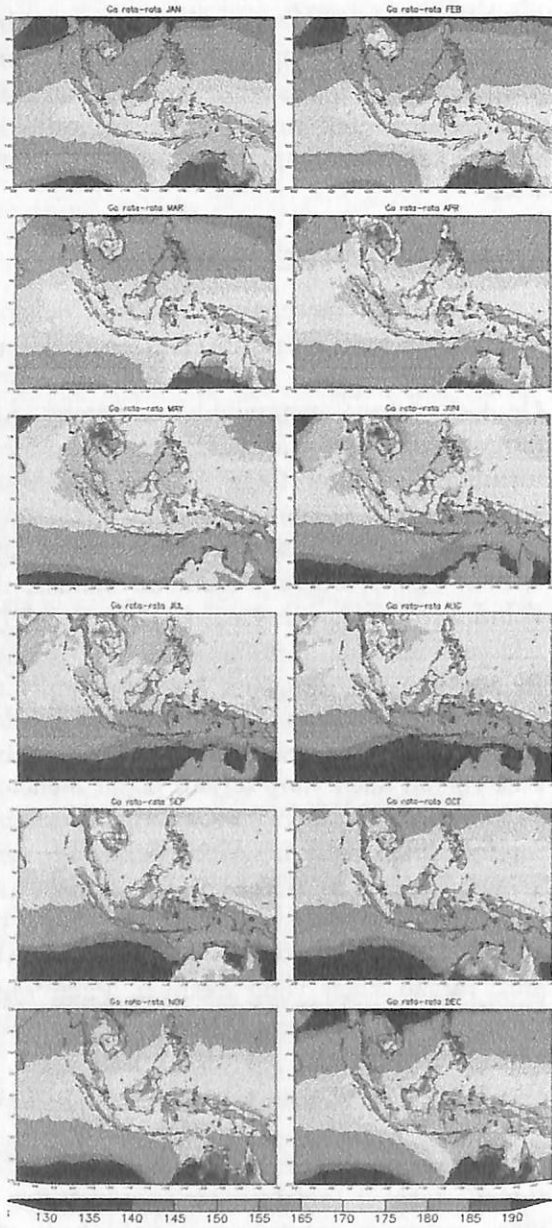
Perhitungan statistik dilakukan terhadap nilai G_a terestimasi untuk mengetahui variasi bulannya serta tren yang terjadi, serta dilakukan pemisahan antara kondisi siang dan kondisi malam. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data AIRS Aqua versi 006 dengan resolusi 1 derajat x 1 derajat untuk periode Januari 2003 – Desember 2013. Selain itu, dilakukan *cropping* data dari lingkup global menjadi lingkup daerah studi, yaitu antara 20°LS-20°LU dan 80-150°BT. Sebagai studi awal terkait penyebab terjadinya

peningkatan efek rumah kaca, dibuat perbandingan pola spasial antara efek rumah kaca dan uap air. Kesamaan pola spasial antara uap air dan efek rumah kaca, menunjukkan adanya kontribusi uap air terhadap efek rumah kaca.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

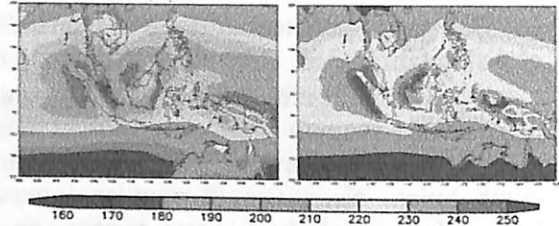
Gambar 1 merupakan ilustrasi besarnya efek rumah kaca atmosfer (G_a) hasil estimasi berdasarkan suhu permukaan dan OLR. Gradasi warna menunjukkan rentang nilai tertentu, dengan warna kuning dan merah menunjukkan nilai tinggi. Sedangkan warna ungu dan biru menunjukkan nilai efek rumah kaca yang rendah. Pada gambar tersebut dapat terlihat bahwa bulan Desember, Januari dan Februari, efek rumah kaca terbesar terjadi di wilayah selatan, terutama untuk perairan Indonesia bagian tenggara, yang meliputi Laut Banda, Teluk Bone, Laut Arafura, perairan sekitar Nusa Tenggara. Di kawasan tersebut, efek rumah kaca yang terjadi dapat mencapai $175 - 180 \text{ Wm}^{-2}$. Beberapa titik lokasi tertentu seperti di Kepulauan Alor, Nusa Tenggara Timur, Bali dan Madura, efek rumah kaca yang terjadi dapat mencapai lebih dari 180 Wm^{-2} . Daerah Australia menunjukkan nilai efek rumah kaca yang ekstrim. Pada bulan yang sama, di daerah utara menunjukkan adanya efek rumah kaca yang rendah dari 135 Wm^{-2} . Di atas daratan, nilainya berkisar $155 - 175 \text{ Wm}^{-2}$.

Pada bulan Maret, terjadi penurunan efek rumah kaca di selatan dan peningkatan di utara, terutama untuk lautan. Penguatan efek rumah kaca di utara tersebut terus terjadi sampai bulan Juni. Di Laut Cina Selatan dan Selat Karimata, efek rumah kacanya mencapai lebih dari 175 Wm^{-2} , dan beberapa tempat seperti sebagai Sumatera bagian timur, mencapai lebih dari 180 Wm^{-2} .



Gambar 1. Variasi rata-rata bulanan efek rumah kaca atmosfer (G_a , dalam W/m^2) di wilayah Indonesia dan sekitarnya.

Tingginya efek rumah kaca pada bulan Mei dan Juni di kawasan utara, berpusat di Kawasan Asia Selatan. Hal ini memberi peluang bahwa Indonesia mendapat pengaruh yang cukup kuat dari efek rumah kaca yang terjadi di kawasan tersebut. Pada bulan selanjutnya, baik di utara maupun selatan, efek rumah kaca mengalami pelemahan, dengan besaran berkisar $155 - 175 Wm^{-2}$.



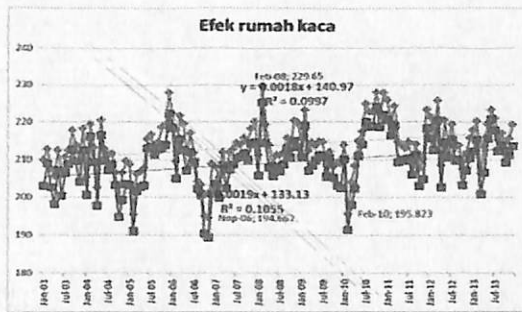
Gambar 2. Efek rumah kaca rata-rata selama Januari 2003-Desember 2013 untuk siang hari (kiri) dan untuk malam hari (kanan).

Gambar 2 menunjukkan nilai efek rumah kaca rata-rata selama periode yang dikaji, dimana efek tertinggi ada di sekitar Sumatera, Kalimantan, dan utara Papua. Meskipun daratan Australia pada bulan November-April menunjukkan adanya efek rumah kaca yang ekstrim tinggi, namun pada periode lainnya menunjukkan nilai efek rumah kaca yang rendah, sehingga rata-rata dalam periode kajian tidak menunjukkan nilai yang tinggi. Rata-rata tertinggi berada di sekitar ekuator, di mana terdapat penerimaan energi matahari terbesar dan terdapat kemungkinan adanya konsentrasi gas rumah kaca yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kawasan lainnya.

Berdasarkan tren nilai rata-rata daerah kajian, efek rumah kaca menunjukkan adanya peningkatan, baik untuk efek rumah kaca yang terjadi pada siang hari maupun malam hari sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3. Efek rumah kaca yang terjadi pada siang hari lebih tinggi dari malam hari, namun persamaan tren menunjukkan bahwa efek rumah kaca yang terjadi pada malam hari mengalami peningkatan yang lebih besar dibandingkan siang hari, dimana nilai *slope* dari persamaannya adalah 0,0018 untuk siang hari dan 0,0019 untuk malam hari. Terdapat kemungkinan bahwa perubahan karakteristik permukaan, terutama di daratan, memberikan kontribusi pada peningkatan efek rumah kaca di malam hari. Perubahan karakteristik permukaan yang paling mungkin memberi kontribusi pada peningkatan efek rumah kaca di malam hari adalah meningkatnya komponen perkotaan dan berkurangnya komponen alami di permukaan, yang menyebabkan peningkatan penyerapan dan penahanan radiasi matahari di permukaan yang kemudian dilepaskan pada malam hari. Hal ini membutuhkan studi yang lebih mendalam.

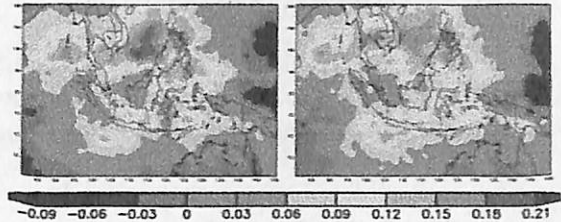
Dari gambar 3, dapat terlihat adanya fluktuasi besarnya efek rumah kaca. Pada November 2006 dan Februari 2010 terjadi

penurunan nilai efek rumah kaca yang cukup signifikan. Kemungkinan terjadi mekanisme penurunan efek rumah kaca pada kedua periode tersebut. Pada akhir 2006 terjadi kebakaran hutan di Kalimantan yang memberi efek terhadap peningkatan polutan di atmosfer dan berkurangnya radiasi matahari yang sampai permukaan dalam lingkup spasial yang cukup luas, sehingga intensitas OLR juga menurun. Sedangkan untuk periode Februari 2010, kemungkinannya adalah terkait dengan El Niño dan terjadi penurunan konsentrasi uap-air di atmosfer. Berdasarkan hal ini, dapat diduga bahwa uap air memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap fluktuasi besarnya efek rumah kaca yang terjadi. Pada periode Februari 2008 dan Agustus-Oktober 2010, di saat terjadi La Niña dan peningkatan konsentrasi uap air atmosfer, efek rumah kaca juga mengalami peningkatan yang cukup signifikan.

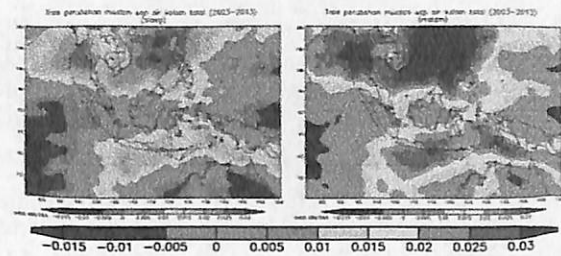


Gambar 3. Tren efek rumah kaca rata-rata untuk seluruh daerah kajian selama Januari 2003-Desember 2013 untuk siang hari (biru) dan untuk malam hari (merah).

Secara spasial, tren tersebut menunjukkan adanya variasi yang cukup besar. Perubahan terbesar terjadi di utara wilayah kajian, yaitu di Laut Cina Selatan. Daerah lain yang juga menunjukkan perubahan G_a yang tinggi adalah di sekitar Laut Sulawesi, Laut Jawa dan beberapa bagian dari Laut Banda (Lihat Gambar 4). Distribusi spasial peningkatan efek rumah kaca ini menunjukkan kesamaan pola dengan kondisi tren muatan uap air atmosfer dalam kolom total (Gambar 5). Nilai korelasi spasial yang dihitung antara muatan uap air kolom total dan efek rumah kaca adalah 0.7537 untuk malam hari dan 0.74 untuk siang hari. Hal ini memberi indikasi yang cukup kuat bahwa uap air memberikan kontribusi yang cukup besar pada terjadinya efek rumah kaca.



Gambar 4. Tren perubahan efek rumah kaca selama Januari 2003-Desember 2013 untuk siang hari (kiri) dan untuk malam hari (kanan).



Gambar 5. Tren perubahan muatan uap air dalam total kolom udara selama Januari 2003-Desember 2013 untuk siang hari (kiri) dan untuk malam hari (kanan).

Kajian perubahan muatan air di atmosfer dan besarnya efek rumah kaca yang terjadi, lebih relevan dibandingkan kajian keterkaitan gas karbon dioksida dengan perubahan temperatur permukaan. Mengkaji efek rumah kaca dengan meninjau korelasi antara suhu permukaan dan CO_2 dalam tidak relevan, karena pengaruh CO_2 pada suhu permukaan bukan merupakan pengaruh langsung. CO_2 sebagai gas rumah kaca menahan lepasnya gelombang panjang ke luar atmosfer bumi, sehingga terjadi penumpukan gelombang panjang di atmosfer.

4. KESIMPULAN

Bulan Desember, Januari dan Februari, efek rumah kaca terbesar terjadi di wilayah selatan, sedangkan pada Juni, Juli dan Agustus, efek rumah kaca terbesar terjadi di wilayah utara. Berdasarkan kecenderungan yang ada, efek rumah kaca menunjukkan adanya peningkatan, baik yang terjadi pada siang hari ataupun pada malam hari. Berdasarkan perbandingan data spasial antara efek rumah kaca dan uap air, dapat diketahui bahwa efek rumah kaca mendapat kontribusi yang cukup signifikan dari adanya uap air atmosfer. Namun terdapat mekanisme lain yang juga menentukan fluktuasi besarnya efek rumah kaca dan memerlukan studi yang lebih mendalam.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional yang telah mendukung dilaksanakannya studi ini.

6. REFERENSI

1. Raval, A. dan V. Ramanathan, Observational Determination of the Greenhouse Effect, *Nature*, 342 : 758-761 (1989).
2. C. I. Garfinkel, D. W. Waugh, L. D. Oman, L. Wang, and M. M. Hurwitz, Temperature trends in the tropical upper troposphere and lower stratosphere: Connections with sea surface temperatures and implications for water vapor and ozone, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 9658–9672, doi:10.1002/jgrd.50772, (2013).
3. V. Ramanathan and A. Inamdar, *The radiative forcing due to clouds and water vapor*, *Frontiers of Climate Modeling*, Published by Cambridge University Press, 2006.
4. IPCC, *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
5. F. Miskolczi, *Greenhouse Effect and the IR Radiative Structure of the Earth's Atmosphere*, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Int. J. Environ. Res. Public Health, ISSN 1660-4601, doi:10.3390/ijerph 70x000x (2010).