

ANALISIS KORELASI RADIATIVE FORCING METANA (CH₄) DENGAN PERUBAHAN TEMPERATUR DI KOTOTABANG TAHUN 2004 – 2009

Dwi Pujiastuti

Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika Universitas Andalas Padang
E-mail: dwi_pujiastuti@yahoo.com

ABSTRAK

Telah dilakukan perhitungan radiative forcing gas Metana (CH₄) menggunakan konsentrasi (CH₄) dari tahun 2004 – 2009 di Kototabang dengan menggunakan metode Intergovernmental on Panel Climate Change (IPCC). Hasil perhitungan kemudian dikorelasikan dengan selisih temperatur yang merupakan data bulanan temperatur permukaan Kototabang dikurangi dengan temperatur rata-rata selama 6 tahun pengukuran. Temperatur permukaan diukur dengan menggunakan instrumen Automatic Weather station (AWS) yang ada di stasiun GAW Kototabang. Dari hasil analisis diperoleh nilai radiative forcing mengalami peningkatan dari 0,24338 Wm⁻² pada tahun 2004 menjadi 0,246221 Wm⁻² pada tahun 2009. Hal ini menunjukkan lebih banyak energi radiasi matahari yang diserap daripada yang diemisikan (Positive feedback). Tetapi hasil korelasi radiative forcing CH₄ dengan selisih temperatur memiliki koefisien determinasi yang rendah yaitu 0,0047. Hal ini karena perubahan temperatur di Kototabang yang tercatat di AWS bukan hanya dipengaruhi oleh nilai konsentrasi metana saja tapi juga oleh aerosol, awan, dan gas rumah kaca lainnya. Hal juga ini menunjukkan bahwa konsentrasi gas metana tidak signifikan mempengaruhi perubahan temperatur di Kototabang.

Kata kunci: Kototabang, metana, radiative forcing, temperatur

ABSTRACT

Radiative forcing of methane (CH₄) gas has been calculated based on its concentration in Kototabang from 2004 to 2009, by using Intergovernmental on Panel Climate Change (IPCC) method. The calculation results were further correlated to the temperature differences, i.e., monthly surface temperature subtracted by the average temperature data at Kototabang during the six year of measurement. The surface temperature was measured by using Automatic Weather Station (AWS) installed at the Global Atmospheric Watch (GAW) Kototabang. Based on the analysis, there was an increment of the radiative forcing from 0.24338Wm⁻² in 2004 to 0.246221Wm⁻² in 2009. This showed the solar energy was more absorbed than emitted (positive feedback). However, the result of correlation analysis between CH₄ radiative forcing and the temperature difference shows a low determinant coefficient, i.e., 0.0047. This is due to the measured temperature change in Kototabang is not only affected by methane concentrations but also influenced by aerosol, clouds and other green house gases. This also shows that methane gas concentration did not significantly influence the temperature change in Kototabang.

Keywords: Kototabang, methane, radiative forcing, temperature

PENDAHULUAN

Iklm di bumi ditentukan oleh aliran energi terus menerus yang berasal dari sinar matahari. Energi ini sampai ke bumi dalam bentuk cahaya yang dapat terlihat dan sinar ultra violet. Kurang lebih 30% dari energi dipancarkan kembali ke angkasa., tetapi sebagian besar (70%) dapat menembus atmosfer dan menghangatkan permukaan bumi. Energi yang diterima oleh bumi akan dipancarkan kembali ke angkasa dalam bentuk radiasi inframerah. Karena bumi jauh lebih dingin dari matahari, bumi tidak mengembalikan energi dalam bentuk cahaya tetapi memancarkannya dalam bentuk radiasi panas atau sinar infra merah.

Gas rumah kaca adalah gas-gas yang dapat meneruskan gelombang pendek dari matahari, tetapi dapat menahan radiasi gelombang panjang sehingga panas yang berasal dari permukaan bumi tertahan sebagian dan menyebabkan suhu di permukaan bumi menjadi hangat.

Gas-gas tersebut sebenarnya muncul secara alami di lingkungan, tetapi dapat juga timbul akibat aktivitas manusia. Gas rumah kaca tidak berdampak secara langsung terhadap makhluk hidup tetapi akan berdampak setelah melalui perantara dan proses di dalam lingkungan biogeokimia. Sifat gas rumah kaca adalah menaikkan suhu di bumi dengan cara menangkap radiasi gelombang pendek dari matahari dan memantulkannya ke bumi, sehingga bumi seakan-akan mendapatkan pemanasan dua kali. Dampak dari gas rumah kaca adalah pemanasan global dan efek rumah kaca. Sedangkan dampak turunan dari pemanasan global salah satunya adalah perubahan iklim.

Metana merupakan salah satu gas rumah kaca dan komponen utama gas alam dengan konsentrasi kedua sesudah CO₂ di atmosfer. Keberadaan gas metana di bumi terjadi akibat kegiatan manusia seperti produksi bahan bakar fosil, peternakan, budidaya padi, pembakaran dan pengelolaan limbah. Sedangkan secara alami dapat terjadi akibat letusan gunung berapi dan pembusukan material organik.

Cara penanaman tanaman pada rumah kaca yang biasa digunakan di daerah pegunungan atau negara bermusim dingin memberikan gambaran proses terperangkapnya panas matahari dalam rumah kaca yang bertujuan agar kondisi di dalam rumah kaca tetap hangat. Cahaya matahari masuk menembus kaca dan menghangatkan tanah dan udara di dalamnya. Namun panas itu tidak bisa ke luar karena terperangkap oleh kaca yang berakibat makin lama suhu di dalam rumah kaca akan makin panas. Kondisi ini yang dinamakan efek rumah kaca.

Dengan adanya efek rumah kaca di atmosfer, sinar matahari yang masuk atmosfer dapat diserap dan menghangatkan udara. Temperatur rata-rata di permukaan bumi naik 33⁰ C lebih tinggi menjadi 15⁰ C dari seandainya tidak ada efek rumah kaca yang berkisar -18⁰ C, temperatur yang terlalu dingin bagi kehidupan manusia.

Dalam jangka panjang bumi harus membuang energi pada selang yang sama dengan energi yang diterima dari matahari. Karena selimut tebal gas rumah kaca telah mengurangi jumlah energi yang lari ke angkasa, maka iklim akan berubah untuk mengembalikan keseimbangan antara energi yang datang dan pergi. Perubahan atau

penyesuaian ini akan mengakibatkan terjadinya pemanasan global pada permukaan bumi dan lapisan bawah atmosfer. Pemanasan merupakan cara yang paling sederhana dari sistem iklim untuk membuang ekstra energi.

Efek rumah kaca bersifat global, seluruh tempat di permukaan bumi merasakannya. Efek pemanasan akibat terperangkapnya panas yang tidak dapat dilepaskan ke luar angkasa menyebabkan peningkatan temperatur di bumi. Efek rumah kaca terjadi karena naiknya konsentrasi gas rumah kaca yang melampaui kemampuan permukaan bumi untuk mengabsorpsinya. Gas rumah kaca berumur panjang untuk dapat tersebar di seluruh atmosfer global misalnya karbon dioksida dan metana. Oleh karena itu gas rumah kaca berdampak pada skala pemanasan global. Sedangkan gas lain berumur pendek hanya mengakibatkan efek pemanasan lokal atau regional (Enting, 1998).

Bertambahnya gas rumah kaca mengakibatkan ketinggian dari radiasi inframerah yang dipancarkan oleh bumi menjadi berkurang, sehingga jumlah inframerah yang dipancarkan ke angkasa menurun, sementara matahari terus bersinar. Akibatnya terjadi perubahan jumlah energi radiasi yang masuk dan yang ke luar di lapisan troposfer yang dinyatakan dengan *radiative forcing*. *Radiative forcing* digunakan untuk analisis lebih lanjut dari konsentrasi gas rumah kaca terhadap efek pemanasan global. Parameter ini menyatakan adanya gangguan yang merusak pola energi radiasi matahari, dengan laju perubahan energi per satuan luas, yang diukur di bagian atas atmosfer dan

dinyatakan dalam satuan 'Watts per meter persegi' (W/m²). Ketika *radiative forcing* dari satu faktor atau kelompok faktor dievaluasi sebagai positif, energi dari sistem atmosfer bumi meningkat dan mengarah ke sistem pemanasan. Sebaliknya, untuk *radiative forcing* negatif, energi dari sistem atmosfer bumi menurun dan mengarah ke sistem pendinginan.

Istilah *radiative forcing* telah dipakai dalam taksiran IPCC (*Intergovernmental on Panel Climate Change*) untuk menunjukkan gangguan pola penjalaran energi radiatif dari sistem iklim bumi. Beberapa gangguan tersebut dapat dibawa oleh perubahan konsentrasi yang aktif secara radiatif (misalnya karbondioksida, metana dan aerosol) di bumi.

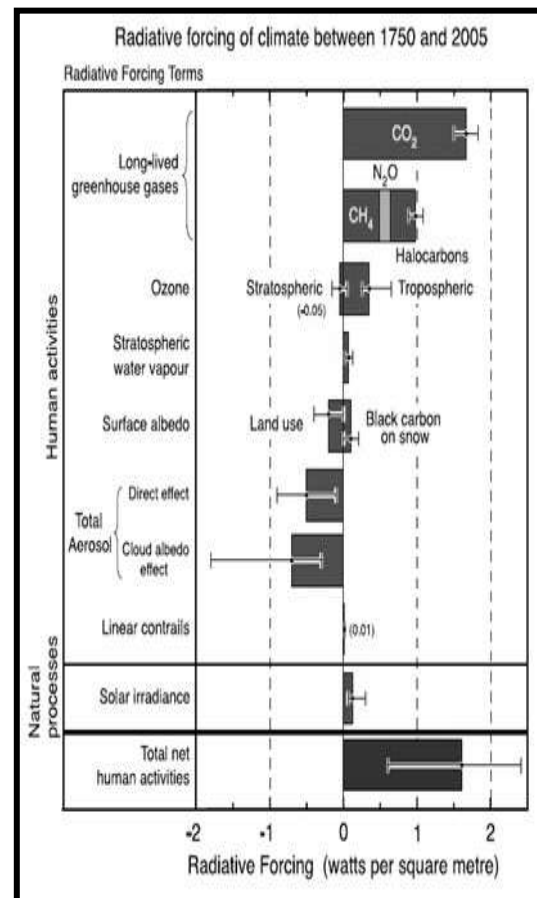
Kesetimbangan energi radiasi diperoleh dari selisih nilai radiasi matahari yang masuk ke bumi melalui radiasi gelombang pendek dengan nilai radiasi matahari yang diemisikan oleh bumi dalam bentuk radiasi gelombang panjang. Apabila selisih nilai tersebut bernilai nol, maka kesetimbangan energi radiasi matahari tercapai. Jika selisih nilai tersebut bernilai positif, maka lebih banyak energi radiasi matahari yang diserap, hal ini dinamakan dengan *positive feedback*. Dampak dari *positive feedback* adalah naiknya temperatur rata-rata permukaan bumi yang mengarah terhadap terjadinya pemanasan secara global (*global warming*). Sebaliknya, jika lebih banyak radiasi matahari yang diemisikan oleh permukaan bumi, maka hal ini disebut dengan *negative feedback* yang berdampak pada turunnya temperature rata-rata permukaan bumi (*global dimming*) dan dinyatakan dalam watt per meter persegi (W/m²). Komponen-

komponen *radiative forcing* dapat dilihat pada Gambar 1. Penentuan *radiative forcing* merupakan cara yang tepat untuk digunakan dalam melihat penyebab perubahan iklim (Smith dan Wigley, 2000).

Semakin besar konsentrasi dari gas rumah kaca di atmosfer, semakin besar akan dampaknya. Masa hidup masing-masing gas harus diperhitungkan. Beberapa gas ada yang memiliki jangka waktu tinggal di atmosfer yang pendek, sementara yang lain tetap berada di atmosfer selama ratusan atau ribuan tahun.

Laporan IPCC tahun 1995 tentang indeks gas rumah kaca, menemukan peningkatan 20% *radiative forcing* metana dari periode pra industri 1750 hingga tahun 1995 (Myhre, 1998). Beberapa faktor yang memiliki peranan dalam menentukan kesetimbangan energi, yaitu tingkat reflektivitas dari permukaan bumi (dikenal dengan albedo permukaan bumi), kemampuan atmosfer menyerap dan mengemisikan energi radiasi, keberadaan awan dan komposisi dalam gas rumah kaca.

Laporan yang disusun oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) menyimpulkan bahwa bumi perlahan-lahan bertambah panas dan bumi berada dalam keadaan bahaya. Jika manusia tidak mencari jalan untuk menghentikan pemanasan global, suhu rata-rata bumi diperkirakan akan naik antara 2,5⁰ - 10,4⁰ F ($\pm 1,4^0 - 5,8^0$ C) sampai akhir abad ke-21.



Gambar 1 Komponen *Radiative Forcing* (Forster, 2007)

Lonjakan jumlah gas rumah kaca di atmosfer bumi berpotensi menyebabkan bencana global. Pemanasan global telah menyebabkan temperatur rata-rata bumi mengalami kenaikan hingga 2⁰ Celcius dibandingkan dengan tahun 1880 (US National Climate Data Center, 2001).

Perubahan temperatur permukaan bumi selama ribuan tahun sangat dipengaruhi oleh konsentrasi karbon dioksida dan metana dalam kurun waktu itu. Peningkatan 15% karbon dioksida selama seabad ini telah meningkatkan temperatur rata-rata atmosfer di permukaan bumi sekitar 0,25 - 0,50⁰ C (Enting, 1998).

Peningkatan temperatur global diperkirakan akan meningkatkan tinggi permukaan air laut akibat pencairan lapisan es di kutub. Dalam jangka panjang beberapa pulau akan hilang dan laut menggenangi daerah pinggiran pantai. Tutupan es di laut kutub selatan turun sekitar 10 - 15%. Demikian juga salju yang ada di pegunungan Australia susut sekitar 40% selama 40 tahun terakhir yang diikuti naiknya permukaan laut sekitar 20 mm per dekade dalam 50 tahun terakhir (Nggieng, 2008).

Indonesia juga sudah mulai merasakan dampak perubahan iklim, seperti bergesernya pola musim hujan, meningkatnya kejadian cuaca ekstrim, curah hujan tinggi yang mengumpul dalam suatu periode yang pendek, hilangnya kesejukan beberapa daerah/kota yang dahulu terkenal berudara sejuk. Indonesia memiliki resiko yang besar akibat pemanasan global. Berdasarkan laporan IPCC, pada tahun 2030 akan bisa terjadi kenaikan permukaan air laut sebesar 8 - 29 cm dibandingkan dengan muka air laut saat ini. Bila hal ini terjadi, dikhawatirkan Indonesia bisa kehilangan pulau-pulau kecil yang secara langsung berdampak pada pengurangan luas wilayah Indonesia.

Peningkatan temperatur permukaan bumi juga dikhawatirkan akan menyebabkan pertanian akan terganggu, dikarenakan terjadinya pergeseran temperatur dari kondisi yang sudah optimal. Pemanasan global terjadi di troposfer, tempat terjadinya berbagai fenomena cuaca. Maka tidak dipungkiri bahwa pemanasan global juga akan menyebabkan perubahan iklim. Diprediksikan bahwa perubahan iklim bisa menyebabkan musim kemarau yang semakin

panjang serta musim hujan yang semakin pendek periodenya namun dengan peningkatan intensitas curah hujan.

Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan *radiative forcing* gas metana (CH₄) berdasarkan data konsentrasi CH₄ di daerah Kototabang dari tahun 2004-2009 untuk melihat bagaimana pengaruh peningkatan konsentrasi gas metana terhadap temperatur di wilayah ini. GAW (*Global Atmosphere Watch*) merupakan stasiun pengamatan yang merepresentasikan wilayah yang hampir tepat berada di lintang 0° selain Mount Kenya. Namun berbeda dengan Kenya yang merupakan daerah gurun, Kototabang mewakili daerah yang memiliki hutan hujan tropis dengan tingkat kelembaban dan curah hujan yang tinggi.

METODOLOGI

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan menggunakan data konsentrasi metana yang dianalisis lebih lanjut untuk dihitung besarnya *radiative forcing* akibat gas metana. Hasil *radiative forcing* ini kemudian dibandingkan dengan data temperatur tahun 2004 – 2009 yang diperoleh dari instrumen AWS yang ada di GAW Kototabang.

Radiative Forcing Metana

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan menggunakan data konsentrasi Metana 2004 – 2009 di daerah Bukit Kototabang. Selanjutnya ditentukan nilai rata-rata *radiative forcing* metana dengan menggunakan metode IPCC dengan persamaan (IPCC, 2001),

$$\Delta F = \alpha(\sqrt{M} - \sqrt{M_0}) - (f(M, N) + f(M_0, N_0))$$

$$(f(M, N) = 0,47 Wm^{-2} \ln[1 + 2,01 \times 10^{-5} + 5,21 \times 10^{-15} M(MN)^{1,52}]) \quad (1)$$

Dengan

$$\Delta F = \text{Radiative Forcing } CH_4 \text{ (Wm}^{-2}\text{)}$$

α = Konstanta (0,036)

M = Konsentrasi Metana CH₄ (ppb)

N₀ = Konsentrasi Referensi N₂O (ppb)

M₀ = Konsentrasi Referensi Metana (ppb)

Persamaan 1 digunakan untuk menentukan selisih temperatur yang dipengaruhi oleh *radiative forcing* metana dengan menggunakan perumusan IPCC (IPCC, 2001).

$$\Delta Ts = \lambda \Delta F \dots\dots\dots(2)$$

Dengan

ΔTs = selisih temperatur permukaan bumi

ΔF = Radiative forcing metana

λ = merupakan parameter sensitivitas iklim metana ($\lambda = 0,5 \text{ KWm}^{-2}$)

Selanjutnya diplot data *radiative forcing* metana dalam grafik untuk melihat kecenderungan *radiative forcing* metana selama periode 2004-2009.

Temperatur

Data temperatur diambil dengan menggunakan instrumen AWS yang ada di GAW Kototabang. Tahap pengolahan data temperatur dilakukan sebagai berikut :

1. Data bulanan temperatur selama tahun 2004 sampai tahun 2009 dirata-ratakan untuk menentukan temperatur permukaan rata-rata selama 6 tahun pengukuran.
2. Kemudian ditentukan selisih temperatur bulanan selama tahun 2004 sampai dengan tahun 2009. Selisih temperatur merupakan data bulanan temperatur permukaan Bukit Kototabang dikurangi dengan temperatur rata-rata selama 6 tahun pengukuran.
3. Membuat plot grafik *x-y scatter* dari data rata-rata bulanan *radiative forcing*

metana dengan selisih temperatur (ΔTs). Nilai *radiative forcing* metana sebagai sumbu X dan selisih temperatur (ΔTs) sebagai sumbu Y untuk menentukan korelasi *radiative forcing* metana dengan temperatur.

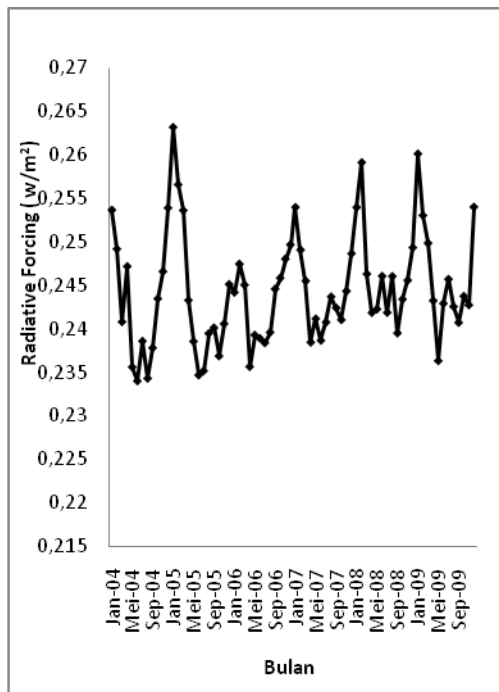
4. Mendefinisikan persamaan yang dihasilkan dari korelasi *radiative forcing* metana dengan selisih temperatur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

***Radiative Forcing* Metana Tahun 2004 – 2009**

Nilai *radiative forcing* metana tidak didapatkan langsung dari pengukuran, akan tetapi dihitung dengan formula berdasarkan persamaan IPCC 2001. Perhitungan melibatkan konsentrasi referensi molekul N₂O karena adanya tumpang tindih panjang gelombang yang diserap oleh molekul metana dan N₂O.

Perubahan tren *radiative forcing* ke arah peningkatan terlihat pada Gambar 1 dengan nilai sebesar 0,24338 Wm⁻² pada tahun 2004 kemudian naik menjadi 0,246221 Wm⁻² pada tahun 2009. Pola fluktuatif terlihat dari nilai *radiative forcing* pada 3 tahun pertama. Sementara dari tahun 2006 sampai 2009 konsentrasi terus mengalami peningkatan.



Gambar 2 *Radiative Forcing* Metana Bulanan Kototabang Tahun 2004 – 2009

Apabila data bulanan *radiative forcing* metana dirata-ratakan menjadi data tahunan, maka diperoleh nilai *radiative forcing* metana pada tahun 2004 sebesar $0,24338 \text{ Wm}^{-2}$. Terjadi peningkatan pada tahun 2005 sebesar $0,00052 \text{ Wm}^{-2}$ dari tahun sebelumnya dengan nilai $0,24390 \text{ Wm}^{-2}$. Pada tahun 2006 *radiative forcing* metana mengalami penurunan, yaitu sebesar $0,00088 \text{ Wm}^{-2}$. Pada tahun 2007 *radiative forcing* metana naik kembali menjadi sebesar $0,24394 \text{ Wm}^{-2}$. *Radiative forcing* metana terus naik pada tahun 2008 dengan nilai $0,24624$. Pada tahun 2009 nilai ini turun tetapi tidak begitu signifikan, yaitu sebesar $0,00002 \text{ Wm}^{-2}$ sehingga menjadi $0,246221 \text{ Wm}^{-2}$.

Secara teoritis kenaikan *radiative forcing* berkorelasi dengan kenaikan konsentrasi metana. Kenaikan ini mengindikasikan lebih banyak energi radiasi matahari yang diserap

(*positive feedback*) daripada radiasi matahari yang diemisikan. Dampak dari *positive feedback* ini adalah naiknya temperatur

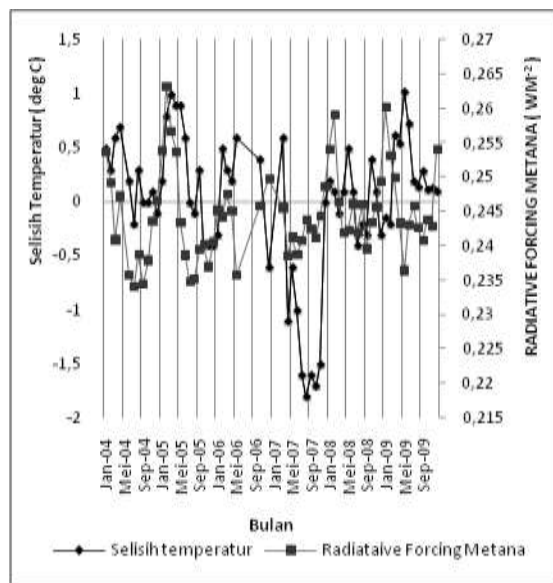
Metana menyerap radiasi inframerah yang berasal dari bumi, kemudian molekul metana bervibrasi sehingga sebagian energi diteruskan ke molekul metana lainnya dan sebagian lagi dipantulkan ke bumi. Penerusan energi dari satu molekul ke molekul lainnya. Inilah yang mempertahankan bumi tetap hangat pada malam hari.

Kenaikan nilai *Radiative forcing* metana yang mengalami kenaikan dari tahun 2004 sampai tahun 2009 di Kototabang secara teori akan berdampak pada kenaikan temperatur yang mengarah ke pemanasan global.

Selisih Temperatur Kototabang Tahun 2004 – 2009

Gambar 3 menampilkan selisih temperatur terhadap nilai rata-rata temperatur dalam periode 2004 – 2009 di Kototabang yang diperoleh dari hasil pengukuran instrumen AWS.

Secara umum dari Gambar 3 terlihat adanya penyimpangan antara *radiative forcing* dengan besarnya selisih temperatur yang terukur dan tidak terlihat tren yang jelas pada pola selisih temperatur.

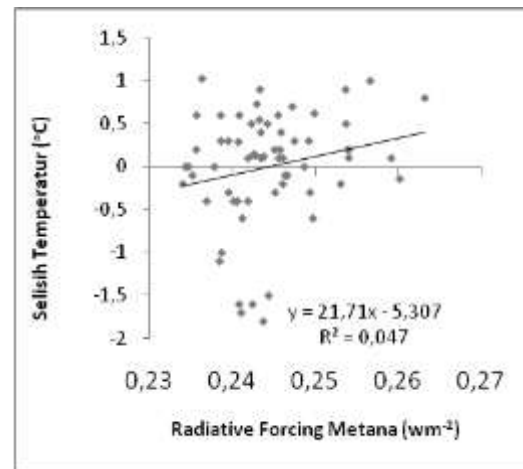


Gambar 3 Perbandingan Selisih Temperatur Dari Data AWS dan *Radiative Forcing* Metana di Bukit Kototabang

Kondisi ini berbeda dengan teori bahwa keberadaan metana di atmosfer akan meningkatkan temperatur karena peningkatan *radiative forcing* mengindikasikan energi yang terserap lebih besar daripada energi yang dilepaskan karena adanya peningkatan konsentrasi metana di atmosfer. Perbedaan ini diakibatkan karena temperatur yang terukur oleh instrumen AWS bukan nilai temperatur tunggal yang dipengaruhi oleh konsentrasi metana di atmosfer saja tapi merupakan pengukuran karena faktor-faktor atmosfer secara keseluruhan. Banyak faktor lain yang mempengaruhi temperatur yang dihitung dan tercatat pada instrumen ini.

Korelasi *Radiative Forcing* Metana dengan Selisih Temperatur di Bukit Kototabang tahun 2004 – 2009

Korelasi antara *radiative forcing* dan selisih temperatur dapat dilihat pada Gambar 4,



Gambar 4 Korelasi *Radiative Forcing* metana dengan selisih temperatur tahun 2004 - 2009

Pada Gambar 4 diperoleh koefisien determinasi (R^2) = 0.0047. Hal ini menunjukkan korelasi yang sangat kecil antara konsentrasi gas metana dengan perubahan temperatur di Kototabang. Kondisi ini karena perubahan temperatur yang tercatat di alat AWS dipengaruhi juga oleh faktor-faktor lain seperti aerosol, awan, dan keberadaan gas rumah kaca lainnya. Dari korelasi ini terlihat bahwa gas metana tidak berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan temperatur di Kototabang.

SIMPULAN

Nilai *Radiative forcing* metana mengalami peningkatan dari 0,24338 Wm^{-2} pada tahun 2004 mencapai 0,246221 Wm^2 pada tahun 2009.

Dari Korelasi antara *radiative forcing* metana dengan selisih temperatur di Bukit Kototabang selama tahun 2004 sampai dengan tahun 2009 berdasarkan pengukuran instrumen AWS diperoleh koefisien determinasi sebesar 0,0047. Kondisi ini menunjukkan korelasi yang sangat kecil antara konsentrasi gas metana dengan perubahan temperatur. Hal ini karena

perubahan temperatur di Kototabang yang tercatat di AWS bukan hanya dipengaruhi oleh nilai konsentrasi metana saja tapi juga oleh aerosol, awan, dan gas rumah kaca lainnya.. Hal juga ini menunjukkan bahwa konsentrasi gas metana tidak signifikan mempengaruhi perubahan temperatur di Kototabang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada staf dan karyawan GAW Kototabang atas kemudahan fasilitas alat dan data yang digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Enting, I.G. 1998. *Attribution of Greenhouse Gas Emissions, Concentrations and Radiative Forcing*. CSIRO Atmospheric Research Technical Paper No. 38.
- Forster, P., Ramaswamy., Artaxo, Paulo., Bernsten, Terje., Betts, Richard., Fahey, David. W., Haywood, James., Lean, Judith., Lowe, David. C., Myhre, Gunnar., Nganga, John., Prinn, Ronald., Raga, Graciela., Schulz, Michael., Dorland, Roberth. V. 2007. *Chapter 2: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC, 2001. *Climate Change 2001 : The Scientific Basic. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge Univ. Press. New York.
- Kram, E.L., La Rovere, B. Metz, T. Monita, W. Papper, H. Pitcher, A. Sankovski, P. Shukla, R. Swart, R. Watson, Z. Dadi. 2000. *IPCC Special Report on Emission Scenario*. Cambridge Univ. Press. New York
- Myhre, G., Highwood, E. J., Shine, K. P., Stordal, F., 1998. *New Estimates of Radiative Forcing Due to Well Mixed Greenhouse Gases*. Geophysical Research Letters, Vol.25, No.14, Pages 2715 - 2718.
- Nggieng. 2008. *Bumi*. <http://www.saveourplanet.com/globalwarming.html>, diakses 13 April 2010.
- Nakicenovic, N., O. Davidson, A. Grubler, T. Kram, EL. La Rovere, B. Metz, T. Monita, W. Papper, H. Pitcher, A. Sankovski, P. Shukla, R. Swart, R. Watson, Z. Dadi. 2000. *IPCC Special Report on Emission Scenario*. Cambridge Univ. Press. New York
- Neiburger, Morris., Edinger, James G., Bonner, William D. 1995. *Memahami Lingkungan Atmosfer Kita*, edisi kedua, terjemahan Ardina Purbo. ITB, Bandung.
- Smith, Steven. J., Wigley T.M.L., 2000, *Global Warming Potensial*, Kluwer Academic Publisher, *Climate Change* 44: 459 – 469
- Salby, Murry L. 1995. *Fundamentals of Atmospheric Physics*. Academic Press, University of Colorado.
- Tjasyono, Bayong. 2008. *Sains Atmosfer*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Badan Meteorology dan Geofisika, Jakarta. <http://en.NOAA.com/Methane> in atmosphere, diakses 16 Agustus 2010