

ANALISIS EFEK KARBON DIOKSIDA (CO₂) TERHADAP KENAIKAN TEMPERATUR DI BUKIT KOTOTABANGTAHUN 2005 – 2009

Dwi Pujiastuti¹, Elena Melayeta¹, Badrul Mustafa²

¹Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas

²Fakultas Teknik Universitas Andalas

E-mail : Dwi_Pujiastuti@yahoo.com

ABSTRACT

Analysis of radiative forcing of carbon dioxide (CO₂) by using IPCC (Intergovernmental on Panel Climate Change) method over Bukit Kototabang (Agam, West Sumatera) for period of 2005 to 2009 has been conducted. The result is correlated with temperature deviation which measured by using AWS (Automatic Weather Station). Result showed that CO₂ concentration increased from 375.256 ppm in 2005 to 381.736 ppm in 2009 but still below the global CO₂ concentration in every year. In addition, CO₂ radiative forcing has derived increased from 1.605 Wm⁻² in 2005 to 1.697 Wm⁻² in 2009 but still below the global CO₂ radiative forcing. Concentration of CO₂ has the same trend with CO₂ radiative forcing. Temperature deviation was influenced by CO₂ radiative forcing but with low correlation coefficient, about 6.9%. It can be concluded that the CO₂ radiative forcing is not the main factor which is influences the temperature deviation in Bukit Kototabang.

Key words: carbon dioxide (CO₂), radiative forcing, temperature deviation

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan tantangan paling serius yang dihadapi dunia pada saat ini. Sejumlah bukti memperlihatkan bahwa telah terjadi peningkatan suhu global yang diantaranya disebabkan oleh tindakan manusia. Sejak tahun 1960, penyebab naiknya temperatur di bumi adalah efek rumah kaca yang menurut sebagian ahli disebabkan oleh meningkatnya kandungan karbon dioksida (CO₂) dan partikel polutan lainnya di atmosfer bumi (Nggieng, 2008). Walaupun proses alam mampu mengurangi CO₂ di atmosfer, tetapi aktivitas manusia yang melepaskan CO₂ ke udara jauh lebih cepat dari pada kemampuan alam untuk mengurangnya.

Bertambahnya konsentrasi 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 keluar di lapisan tropopause atmosfer yang dinyatakan dalam *radiative forcing*. Kelompok peneliti dari berbagai negara di dunia memaparkan hasil penelitian mengenai perubahan iklim dalam laporan IPCC (*Intergovernmental on Panel Climate Change*). Berdasarkan laporan IPCC tahun 1995 tentang indeks gas rumah kaca, menemukan peningkatan 64% *radiative forcing* CO₂ dari periode pra industri (1750) hingga tahun 1995 (Myhre, 1998).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di *Global Atmosphere Watch Station* (GAW) Bukit Kototabang yang merupakan salah satu stasiun pengamatan referensi udara bersih dari 26 stasiun pemantauan udara bersih yang ada di dunia saat ini. Stasiun ini terletak pada lokasi yang jauh dari pemukiman dan aktivitas manusia agar udara yang diukur benar-benar alami sehingga dapat dijadikan referensi udara bersih baik dalam lingkup nasional maupun

internasional. Pemilihan Bukit Kototabang sebagai titik pengamatan atmosfer global didasarkan oleh fakta letak geografis dan astronomisnya.

Dari semua titik pengamatan, hanya Mount Kenya (Kenya) dan Bukit Kototabang (Indonesia) yang merepresentasikan wilayah yang hampir tepat berada di lintang 0° (garis khatulistiwa). Namun berbeda dengan Kenya yang merupakan daerah gurun, Bukit Kototabang mewakili daerah yang memiliki hutan hujan tropis dengan tingkat kelembaban dan curah hujan yang tinggi. Secara geografi Stasiun GAW Bukit Kototabang terletak pada 100,32 bujur timur, 0,20 lintang selatan dan pada ketinggian 864,5 m di atas permukaan laut. Lokasi stasiun berada sekitar 3 km dari lokasi pemukiman penduduk dan kurang lebih 17 km utara kota Bukittinggi.

2.1 Pengambilan Data

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan menggunakan data konsentrasi CO_2 dan temperatur permukaan. Data diambil oleh staf peneliti GAW pada tahun 2005 – 2009 di daerah Bukit Kototabang.

2.1.1 Data Karbon Dioksida

Data konsentrasi CO_2 diambil dengan instrumen *Airkit Flask Sampler* (dapat dilihat pada Gambar 1) oleh staf peneliti GAW. Pengukuran konsentrasi CO_2 dilakukan dengan mengambil sampel udara kering sekali dalam seminggu setiap hari Selasa jam 14.00 WIB. Selanjutnya, tabung instrumen *Airkit Flask Sampler* yang berisi sampel udara dikirim ke NOAA dan NOAA membaca konsentrasi CO_2 yang terkandung di dalam sampel udara. Data hasil pembacaan NOAA dikirim lagi ke GAW. Dalam penelitian data yang digunakan adalah data mingguan konsentrasi CO_2 (setiap hari Selasa).



Gambar 1 Instrumen *Airkit Flask Sampler*

2.1.2 Data Temperatur

Data temperatur diambil dengan instrumen *Automatic Weather Station (AWS)* (dapat dilihat pada Gambar 2) oleh staf peneliti GAW. Data yang dihasilkan berupa data yang terdiri dari tekanan, suhu, curah hujan, solar radiasi, temperatur, arah angin dan kecepatan angin setiap satu menit selama 24 jam. Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data mingguan temperatur Bukit Kototabang (setiap hari Selasa).



Gambar 2 Instrumen Automatic Weater Station (AWS)

2.2 Pengolahan Data

2.2.1 Data Konsentrasi Karbon Dioksida

Data mingguan konsentrasi CO₂ dari tahun 2005 sampai dengan tahun 2009 diplot dalam grafik agar dapat menentukan kecenderungan konsentrasi CO₂. Menentukan nilai rata-rata bulanan *radiative forcing* CO₂ dengan metode IPCC dengan Persamaan (1) dari data rata-rata bulanan konsentrasi CO₂.

$$\Delta F = 5,35Wm^{-2} \times \ln \frac{C}{C_0} \quad (1)$$

Data rata-rata bulanan *radiative forcing* CO₂ diplot dalam grafik untuk membandingkan nilai perhitungan rata-rata tahunan *radiative forcing* CO₂ di Bukit Kototabang yang diperoleh dengan metode IPCC dengan nilai rata-rata tahunan *radiative forcing* CO₂ global yang dilaporkan oleh IPCC. Menentukan selisih temperatur yang dipengaruhi oleh *radiative forcing* CO₂ dengan metode IPCC dengan Persamaan (2). Selisih temperatur bulanan IPCC merupakan nilai yang menyatakan peningkatan/penurunan temperatur disetiap bulan dengan bulan sebelumnya.

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

2.2.2 Data Temperatur

Data bulanan temperatur selama tahun 2005 sampai dengan tahun 2009 dirata-ratakan untuk menentukan temperatur rata-rata selama 5 tahun pengukuran. Kemudian menentukan selisih temperatur (ΔTs) bulanan selama tahun 2005 sampai dengan tahun 2009. Selisih temperatur merupakan data bulanan temperatur Bukit Kototabang dikurangi dengan temperatur rata-rata selama 5 tahun pengukuran. Membuat plot grafik x – y *scatter* dari data rata-rata bulanan *radiative forcing* CO₂ dengan selisih temperatur (ΔTs). Nilai *radiative forcing* CO₂ sebagai X dan selisih temperatur (ΔTs) sebagai Y untuk

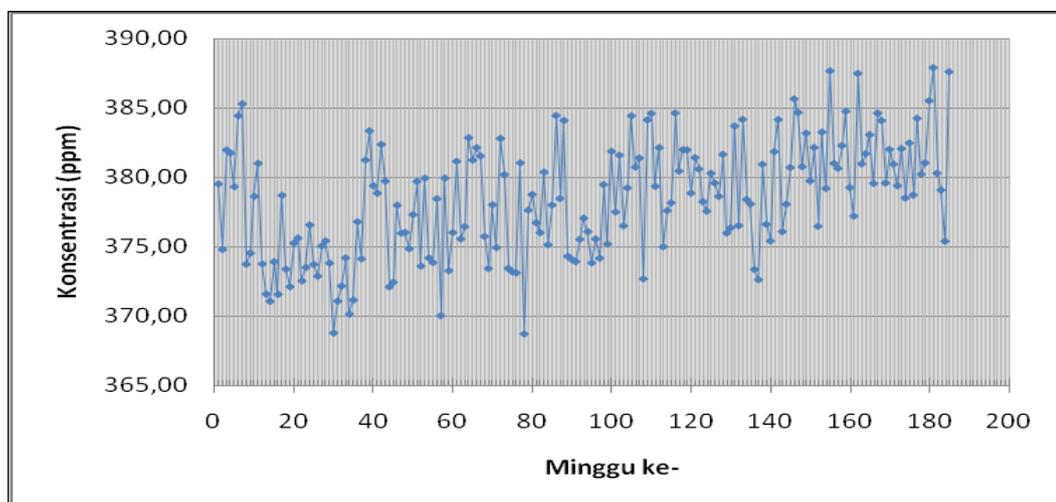
menentukan korelasi *radiative forcing* CO₂ dengan selisih temperatur. Mendefinisikan persamaan yang dihasilkan dari korelasi *radiative forcing* CO₂ dengan selisih temperatur. Melakukan uji validasi data selisih temperatur berdasarkan perhitungan metode IPCC dan hasil pengukuran instrumen AWS dengan uji statistik *t-Test*. Jika syarat $t < t_{crit}$ dan $P > \alpha$ maka uji ini berhasil, dengan pernyataan bahwa kedua data selisih temperatur menghasilkan nilai yang sama dengan keakuratan 95%. Jika syarat tidak terpenuhi berarti kedua data diperoleh dengan cara yang berbeda.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karbon Dioksida

3.1.1 Kecenderungan Konsentrasi Karbon Dioksida Di Bukit Kototabang Tahun 2005 – 2009

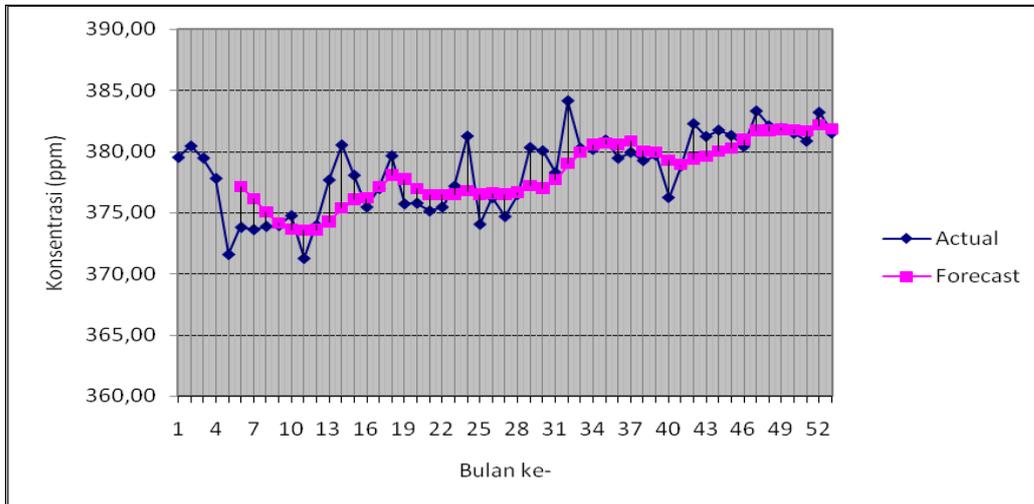
Gambar 3 menggambarkan konsentrasi mingguan CO₂ di Bukit Kototabang pada tahun 2005 sampai dengan tahun 2009. Terjadi variasi kenaikan dan penurunan pada pengukuran konsentrasi CO₂ tetapi konsentrasi CO₂ menunjukkan kecenderungan naik.



Gambar 3 Kecendrungan konsentrasi mingguan karbon dioksida di Bukit Kototabang tahun 2005 – 2009

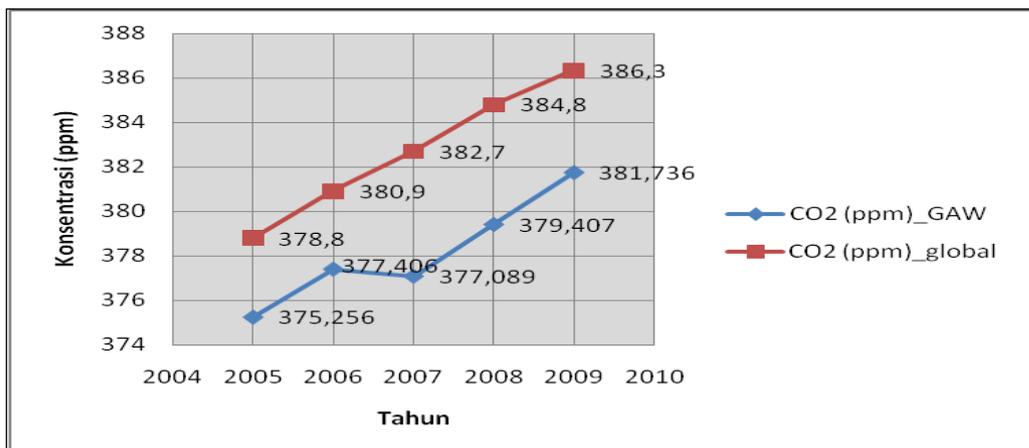
Gambar 4 menggambarkan konsentrasi rata-rata bulanan CO₂ pada tahun 2005 sampai dengan tahun 2009 di Bukit Kototabang (garis biru). Pada Gambar 4 juga ditampilkan pola musiman CO₂ pada tahun 2005 sampai dengan tahun 2009 di Bukit Kototabang (garis ungu). Garis pola musiman tidak lurus sempurna, lebih mirip garis gelombang karena pengaruh konsentrasi CO₂ di atmosfer. Akibat pergerakan matahari dalam satu tahun menyebabkan konsentrasi CO₂ tidak pernah menetap di suatu wilayah. Dengan menggunakan Hukum Kekekalan Massa, konvergensi di suatu wilayah dapat ditentukan. Jika suatu fluida (benda alir) massa mengalir ke dalam suatu ruang, maka akan menyebabkan perubahan dan penyebaran massa keluar. Aliran massa udara berasal dari bagian bumi selatan dimana pada daerah ini udara yang dibawa relatif bersih karena pada bagian bumi bagian selatan sedikit terdapat daerah industri dan lebih didominasi dengan keberadaan Samudera Hindia. Makin lama aliran massa udara yang berasal dari bagian bumi selatan menyebabkan konsentrasi CO₂ pada periode bulan Maret sampai dengan September terus turun. Peristiwa menurunnya konsentrasi CO₂ pada bulan Maret sampai dengan September ini berulang setiap tahun tetapi pada nilai yang lebih tinggi.

Aliran massa udara berasal dari bumi bagian utara dimana pada daerah ini udara yang dibawa relatif kotor karena jumlah industri di daerah ini lebih tinggi dari pada belahan bumi bagian selatan. Massa udara yang berasal dari belahan bumi bagian utara miskin akan uap air karena sebahagian besar udara yang dibawa berasal dari daratan. Makin lama jumlah uap air yang dibawa oleh aliran massa udara di troposfer lebih sedikit yang menyebabkan konsentrasi CO₂ atmosferik yang terukur meningkat dari bulan sebelumnya. Peristiwa ini berulang setiap tahun tetapi pada nilai yang lebih tinggi.



Gambar 4 Siklus musiman konsentrasi rata-rata bulanan karbon dioksida di Bukit Kototabang tahun 2005 – 2009

Selama 5 tahun pengukuran konsentrasi CO₂, pada tahun 2007 pola musiman konsentrasi CO₂ tidak begitu jelas terjadi. Pada tahun ini konsentrasi CO₂ disetiap bulannya cenderung stabil sehingga penurunan konsentrasi CO₂ pada periode bulan Maret sampai dengan September dan peningkatan konsentrasi CO₂ pada bulan September sampai dengan Maret tidak tergambar secara jelas.

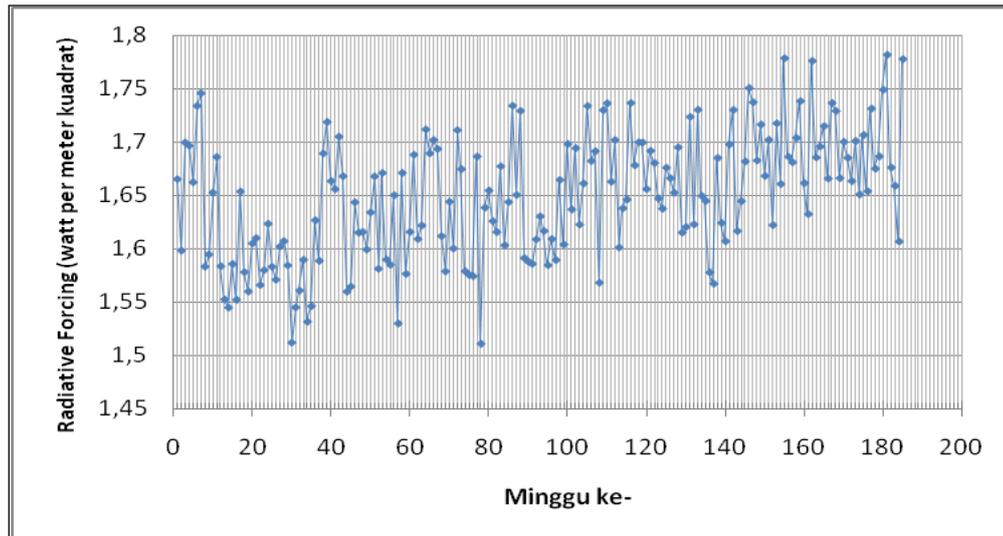


Gambar 5 Konsentrasi rata-rata tahunan karbon dioksida di Bukit Kototabang tahun 2005 – 2009

Gambar 5 menggambarkan plot konsentrasi rata-rata tahunan CO₂ di Bukit Kototabang dan Global pada tahun 2005 sampai dengan tahun 2009. Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa konsentrasi CO₂ di udara Bukit Kototabang (garis biru) cenderung meningkat namun masih di bawah konsentrasi CO₂ global (garis merah).

3.1.2 Radiative Forcing Karbon Dioksida Tahun 2005 – 2009

Gambar 6 menggambarkan grafik *radiative forcing* mingguan CO₂ di Bukit Kototabang pada tahun 2005 sampai dengan tahun 2009. Gambar 6 menggambarkan *radiative forcing* CO₂ dan konsentrasi CO₂ menunjukkan pola yang sama. Hal ini memperlihatkan adanya hubungan antara konsentrasi CO₂ dengan *radiative forcing* CO₂. Jika konsentrasi CO₂ rendah maka pemantulan kembali radiasi gelombang panjang ke bumi lebih sedikit sehingga *radiative forcing* CO₂ juga rendah.



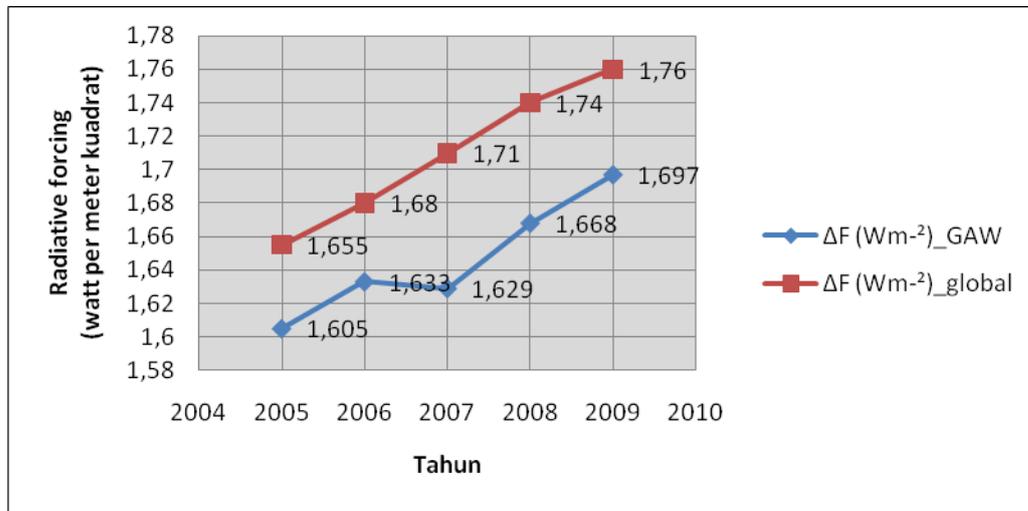
Gambar 6 *Radiative forcing* mingguan karbon dioksida di Bukit Kototabang tahun 2005 – 2009

Gambar 7 menggambarkan data *radiative forcing* rata-rata tahunan CO₂ di Bukit Kototabang dan Global pada tahun 2005 sampai dengan tahun 2009. Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa *radiative forcing* CO₂ di Bukit Kototabang (garis biru) cenderung meningkat dari tahun ke tahun tetapi dengan nilai *radiative forcing* CO₂ yang lebih rendah dari *radiative forcing* CO₂ global (garis merah).

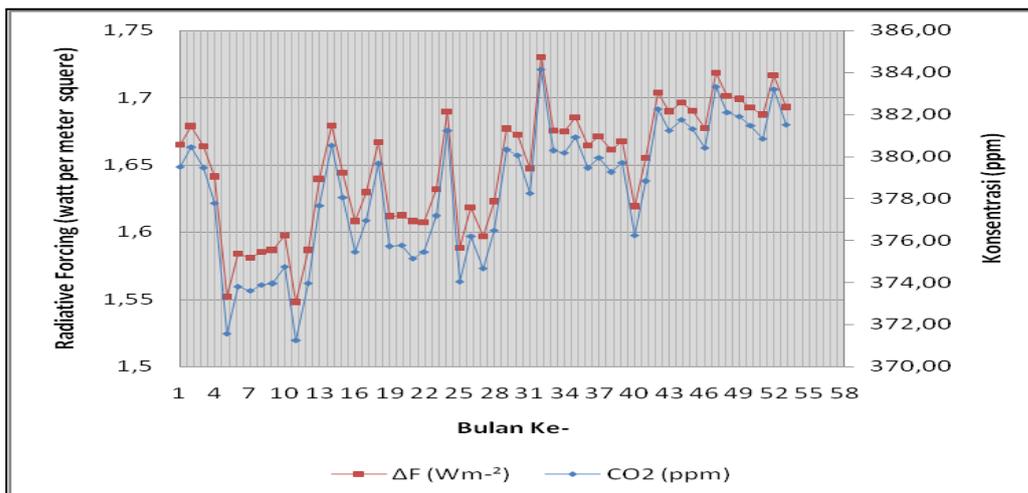
Selama 5 tahun pengukuran pada tahun 2005 sampai dengan tahun 2009, *radiative forcing* rata-rata tahunan CO₂ cenderung mengalami peningkatan. *Radiative forcing* CO₂ di Bukit Kototabang bernilai positif yang berarti bumi mengalami peningkatan energi, akhirnya temperatur di bumi mengarah kepada pemanasan. Pada tahun 2007 terjadi penurunan *radiative forcing* rata-rata tahunan CO₂ yang disebabkan oleh menurunnya konsentrasi rata-rata tahunan CO₂. Terjadi sedikit keraguan terhadap *radiative forcing* rata-rata tahunan CO₂ tahun 2007 akibat ketidaklengkapan data konsentrasi CO₂ pada tahun yang sama. Keraguan terhadap data konsentrasi CO₂ di Bukit Kototabang juga diungkapkan berdasarkan hasil penelitian Trismidianto dkk (2009) bahwa emisi CO₂ meningkat setiap tahunnya dengan rata-rata kenaikan sekitar 4% pertahun yang akan mengakibatkan peningkatan konsentrasi CO₂.

Berpedoman data *radiative forcing* rata-rata tahunan CO₂ selama tahun 2005 sampai dengan tahun 2009, dengan memproyeksikan kecenderungan *radiative forcing* CO₂ maka dapat diperkirakan *radiative forcing* rata-rata tahunan CO₂ di Bukit Kototabang dalam jangka waktu 5 tahun mendatang pada tahun 2010 sampai dengan tahun 2014 akan berkisar antara 1,6985 Wm⁻² hingga 1,7725 Wm⁻². Nilai ini sudah melewati *radiative forcing* CO₂ murni sebesar 1,6375 Wm⁻² sehingga berdampak terhadap kondisi temperatur

di Bukit Kototabang yang mengalami peningkatan yang melebihi batas temperatur normal yang diakibatkan oleh CO₂ murni.



Gambar 7 Radiative forcing rata-rata tahunan karbon dioksida di Bukit Kototabang tahun 2005 – 2009



Gambar 8 Pola kecenderungan radiative forcing karbon dioksida dengan konsentrasi karbon dioksida di Bukit Kototabang tahun 2005 – 2009

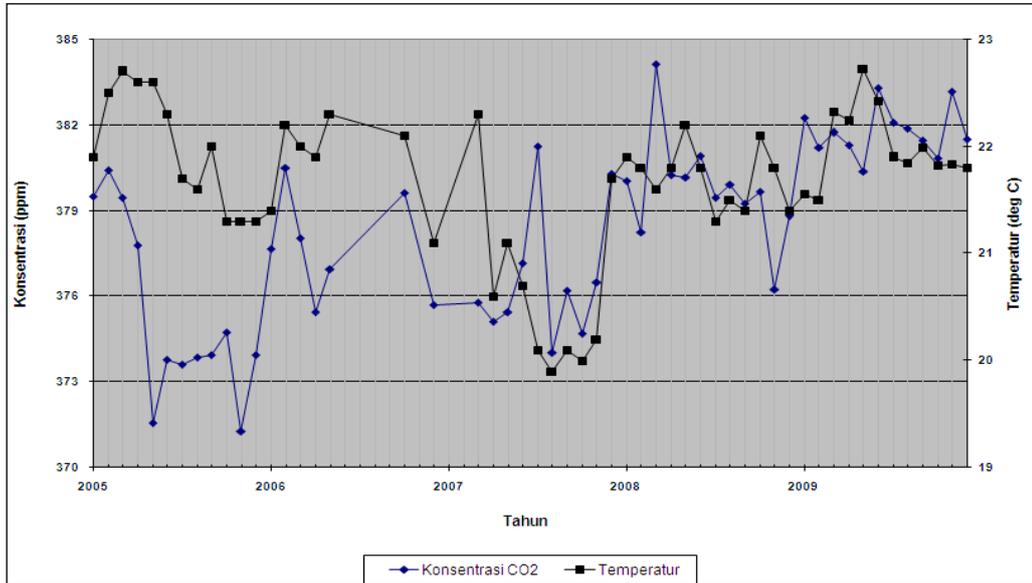
Gambar 8 menggambarkan pola kecenderungan yang sama antara radiative forcing CO₂ dengan konsentrasi CO₂ di Bukit Kototabang pada tahun 2005 sampai dengan 2009. Pada saat radiative forcing CO₂ meningkat ditandai dengan meningkatnya nilai konsentrasi CO₂.

3.2 Temperatur Bukit Kototabang Instrumen AWS Tahun 2005 – 2009

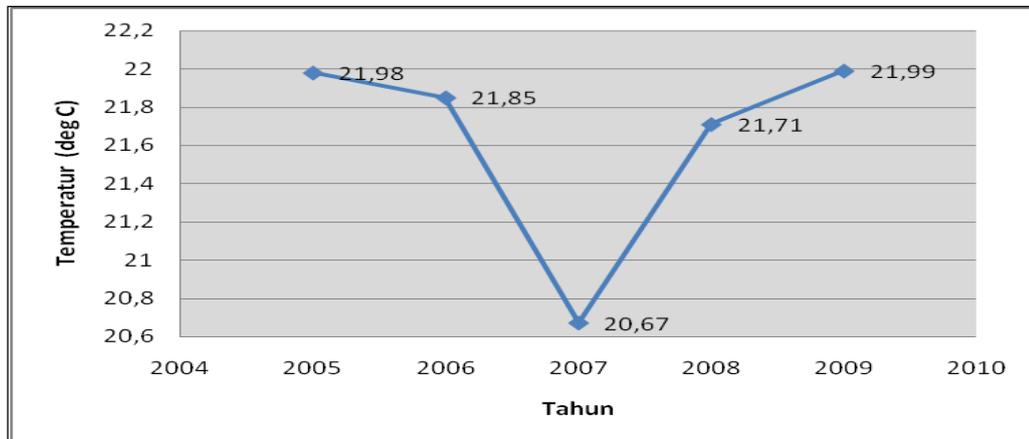
Gambar 9 menggambarkan kondisi temperatur rata-rata bulanan di Bukit Kototabang yang mengalami fluktuasi (garis hitam) secara umum mengikuti pola pergerakan konsentrasi CO₂ (garis biru) di atmosfer pada tahun 2005 sampai dengan tahun 2009 kecuali pada bulan Mei, Juni, Desember tahun 2005, Januari, Juni, Juli tahun 2006, Juni, Juli tahun 2007, Maret, Juni, Desember tahun 2008, Mei, Juni, Nopember tahun 2009.

Hal ini menunjukkan adanya peran CO₂ untuk mempengaruhi temperatur di Bukit Kototabang. Berdasarkan instrumen AWS, temperatur rata-rata bulanan minimum tercatat

19,9 °C yang terjadi pada bulan agustus 2007 dan temperatur tertinggi yang terjadi pada bulan Maret 2005 dan Mei 2009 tercatat 22,7 °C, dan temperatur rata-rata tahunan selama tahun 2005 sampai dengan 2009 tercatat 21,66 °C.



Gambar 9 Hubungan konsentrasi karbon dioksida dengan temperatur rata-rata bulanan di Bukit Kototabang tahun 2005 – 2009



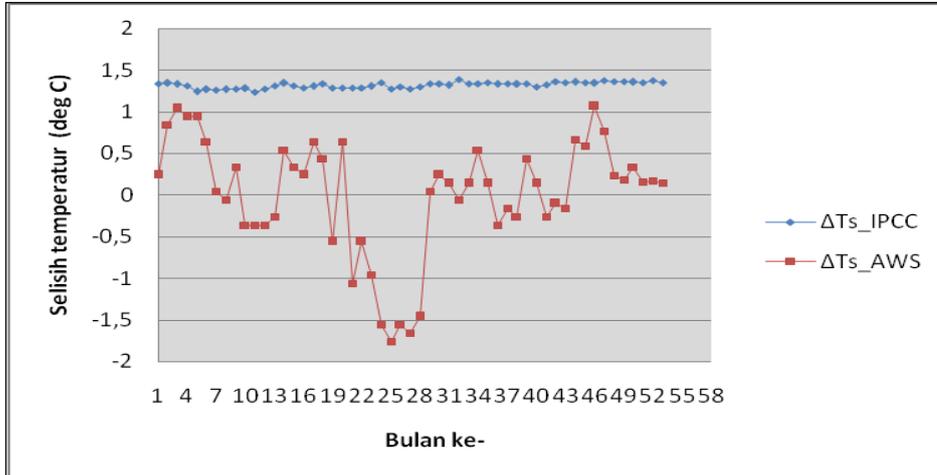
Gambar 10 Temperatur rata-rata tahunan di Bukit Kototabang Tahun 2005 – 2009

Gambar 10 menggambarkan data temperatur rata-rata tahunan di Bukit Kototabang pada tahun 2005 sampai dengan tahun 2009. Temperatur di Bukit Kototabang cenderung meningkat dari tahun ke tahun, tapi pada tahun 2007 terjadi penurunan temperatur di Bukit Kototabang yang disebabkan oleh menurunnya konsentrasi CO₂ di Bukit Kototabang pada tahun yang sama.

3.3 Selisih Temperatur Metode IPCC dan Instrumen AWS Di Bukit Kototabang Tahun 2005 – 2009

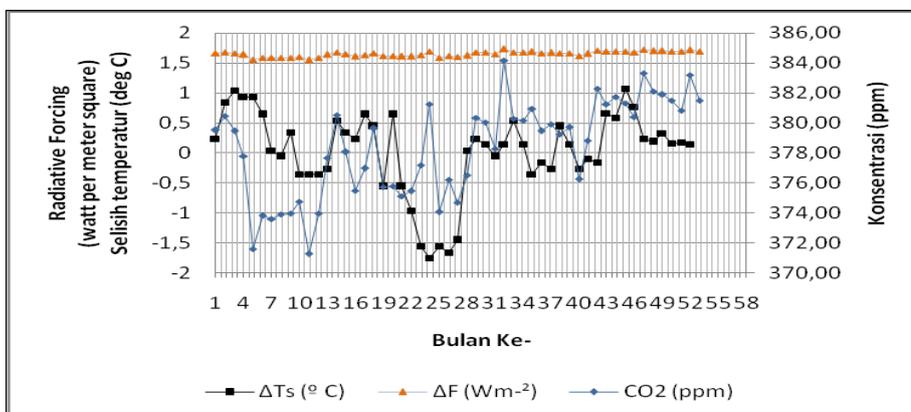
Gambar 11 menggambarkan selisih temperatur rata-rata bulanan berdasarkan metode IPCC dan instrumen AWS. Berdasarkan metode IPCC, *radiative forcing* CO₂ akan memberikan nilai positif (*feedback positive*) dan stabil menaikkan temperatur. Hal ini sesuai dengan sifat CO₂ yang tergolong gas rumah kaca untuk meningkatkan temperatur bumi. Selisih temperatur berdasarkan metode IPCC merupakan peningkatan/penurunan

temperatur disetiap bulan dibandingkan dengan bulan sebelumnya dipengaruhi oleh *radiative forcing* CO₂. Selisih temperatur rata-rata bulanan di Bukit Kototabang pada tahun 2005 sampai dengan 2009 berdasarkan metode IPCC berkisar antara 1,23 K hingga 1,38 K. Keadaan ini masih sesuai dengan selisih temperatur CO₂ murni yang menghasilkan nilai sekitar 1,31 K.



Gambar 11 Selisih temperatur rata-rata bulanan di Bukit Kototabang metode IPCC dan instrumen AWS tahun 2005 – 2009

Pada Gambar 11 juga digambarkan selisih temperatur rata-rata bulanan berdasarkan pengukuran instrumen AWS. Nilai selisih temperatur minimum terjadi pada bulan Agustus 2007 dan selisih temperatur maksimum terjadi pada bulan Mei 2009. Berdasarkan hasil pengukuran instrumen AWS, selisih temperatur rata-rata bulanan di Bukit Kototabang tahun 2005 sampai dengan tahun 2009 berfluktuasi positif dan negatif. Pada tahun 2007 terjadi nilai selisih temperatur yang bernilai negatif kecuali pada bulan Maret dan Desember yang diakibatkan oleh penurunan konsentrasi CO₂ pada tahun yang sama. Nilai selisih temperatur negatif menunjukkan terjadinya penurunan energi bumi yang akhirnya menyebabkan pendinginan di Bukit Kototabang. Nilai selisih temperatur negatif berbeda dengan pernyataan bahwa keberadaan CO₂ di atmosfer akan meningkatkan temperatur. Perbedaan diakibatkan karena temperatur yang terukur oleh instrumen AWS bukan nilai temperatur yang dipengaruhi oleh konsentrasi CO₂ di atmosfer saja, banyak faktor lain yang mempengaruhi temperatur yang dikalkulasikan dan tercatat pada instrumen ini.

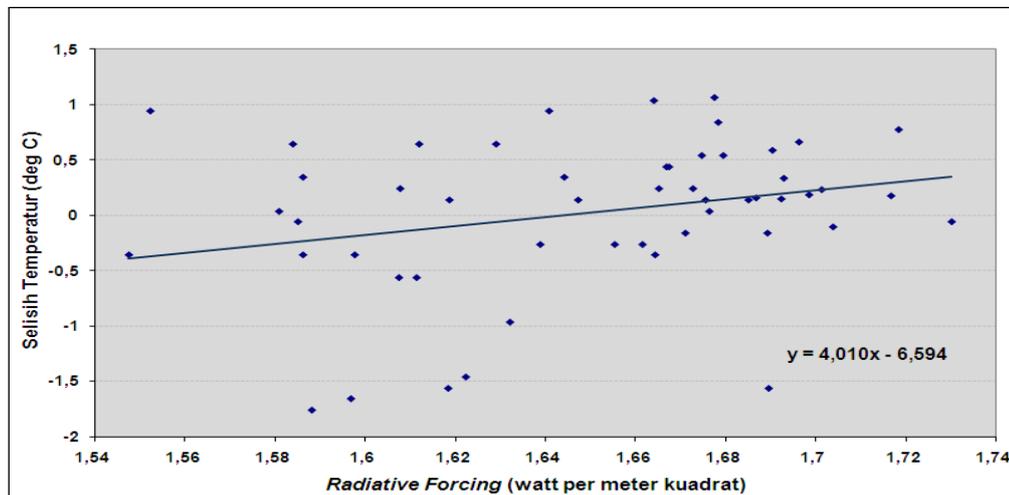


Gambar 12 Selisih temperatur rata-rata bulanan instrumen AWS, *radiative forcing* dan konsentrasi karbon dioksida di Bukit Kototabang tahun 2005 – 2009

Gambar 12 menggambarkan pola keterkaitan antara konsentrasi CO₂, *radiative forcing* CO₂ dan selisih temperatur di Bukit Kototabang berdasarkan instrumen AWS pada tahun 2005 sampai dengan tahun 2009. Jika konsentrasi CO₂ meningkat maka akan meningkatkan nilai *radiative forcing* CO₂ dan berdampak terhadap peningkatan selisih temperatur di Bukit Kototabang. Hubungan ini juga terjadi pada saat penurunan konsentrasi CO₂ di Bukit Kototabang.

3.4 Korelasi *Radiative Forcing* Karbon Dioksida dengan Selisih Temperatur Bukit Kototabang Instrumen AWS Tahun 2005 – 2009

Gambar 13 menggambarkan korelasi *radiative forcing* CO₂ dengan selisih temperatur permukaan pada tahun 2005 – 2009. Dari uji statistik didapat nilai $R = 0,26 < 0,5$, hasil ini mengidentifikasi hubungan yang lemah. Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,069 yang mengartikan bahwa *radiative forcing* CO₂ mempengaruhi nilai selisih temperatur di Bukit Kototabang sebesar 6,9 %.



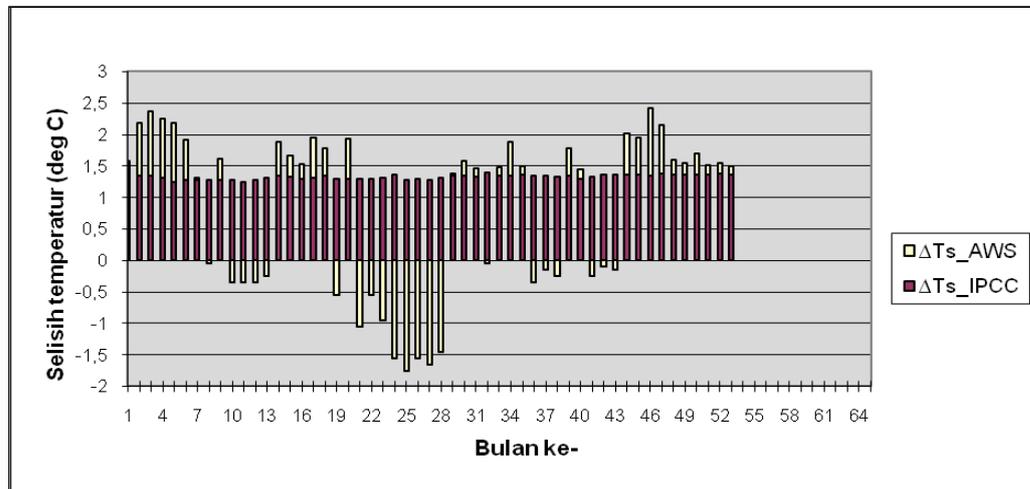
Gambar 13 Plot regresi hubungan *radiative forcing* karbon dioksida dengan selisih temperatur instrumen AWS tahun 2005 – 2009

3.5 Uji Validasi Selisih Temperatur Rata-Rata Bulanan Di Bukit Kototabang Metode IPCC dengan Instrumen AWS Tahun 2005 – 2009

Gambar 14 menggambarkan selisih temperatur yang diperoleh berdasarkan perhitungan metode IPCC dan pengukuran instrumen AWS. Berdasarkan *F-Test* diperoleh hasil $F < F_{crit}$ ($0,002689 < 0,63103$) dan $P < \alpha$ ($0 < 0,5$) dengan hipotesis bahwa dua sampel data diperoleh dengan cara yang berbeda. Validasi data dilakukan dengan *t-Test two sample assuming unequal variances* di peroleh $t > t_{crit}$ ($13,73374 > 2,006646761$) dan $P < \alpha$ ($6,22588 \times 10^{-19} < 0,5$) yang menyatakan bahwa dua kelompok sampel menghasilkan nilai yang berbeda.

Ketidakberhasilan uji validasi dengan hipotesa bahwa kedua data ini diperoleh dengan cara yang sama disebabkan karena beberapa faktor. Pertama, untuk membandingkan dua kelompok data, data yang digunakan harus diperoleh dengan cara yang kurang lebih sama. Rumus metode IPCC diperoleh dari suatu model dengan banyak parameter didalamnya dan berbagai variasi tipe iklim dan daerah, sedangkan hasil selisih temperatur yang diperoleh dari pengukuran instrumen AWS hanya untuk Bukit Kototabang saja dengan tipe dan daerah yang spesifik. Kedua, perbedaan sensitivitas iklim akan menyebabkan perbedaan hasil perhitungan. Ketiga, tidak diketahuinya data *baseline* yang

digunakan. Data *baseline* merupakan data yang dipakai sebagai rata-rata atau pembanding. Pada perhitungan ini, data *baseline* yang digunakan merupakan data tahun 2005 sampai dengan tahun 2009 sedangkan data *baseline* yang digunakan oleh IPCC itu berbeda. Walaupun uji validasi data statistik tidak dapat menunjukkan bahwa kedua data menghasilkan nilai sama, hasil ini bukan merupakan unsur utama dalam menyatakan keakuratan data karena dinamika yang terjadi di atmosfer begitu kompleks.



Gambar 14 Diagram validasi selisih temperatur rata-rata bulanan di Bukit Kototabang tahun 2005 – 2009 metode IPCC dengan instrumen AWS

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisis data konsentrasi CO₂ yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan:

1. Konsentrasi rata-rata tahunan CO₂ di Bukit Kototabang berfluktuasi dan cenderung mengalami peningkatan dari 375,256 ppm pada tahun 2005 menjadi 381,736 ppm pada tahun 2009, tetapi masih di bawah konsentrasi CO₂ global pada setiap tahunnya.
2. Konsentrasi CO₂ dipengaruhi oleh posisi matahari sehingga membentuk pola musiman yang berulang setiap tahun tetapi pada nilai yang lebih tinggi.
3. *Radiative forcing* rata-rata tahunan CO₂ di Bukit Kototabang berdasarkan metode IPCC berfluktuasi dan cenderung mengalami peningkatan dari 1,605 Wm⁻² pada tahun 2005 dan mencapai 1,697 Wm⁻² pada tahun 2009, tetapi masih di bawah *radiative forcing* CO₂ global pada setiap tahunnya.
4. *Radiative forcing* CO₂ memiliki pola kecenderungan yang sama dengan konsentrasi CO₂.
5. Temperatur di Bukit Kototabang dipengaruhi oleh konsentrasi CO₂ di Bukit Kototabang.
6. Selisih temperatur di Bukit Kototabang pada tahun 2005 sampai dengan tahun 2009 berdasarkan metode IPCC berkisar antara 1,23 K hingga 1,38 K dan berdasarkan instrumen AWS berkisar antara -0,36 °C hingga 1,04 °C.
7. Korelasi *radiative forcing* CO₂ dengan selisih temperatur di Bukit Kototabang pada tahun 2005 sampai dengan tahun 2009 berdasarkan instrumen AWS menunjukkan nilai yang rendah dengan koefisien korelasi 6,9 %. Ini berarti

radiative forcing CO₂ bukan merupakan faktor utama yang mempengaruhi temperatur di Bukit Kototabang.

DAFTAR PUSTAKA

1. Alonso, M., Finn, E., 1992. *Dasar-Dasar Fisika Universitas*, jilid II, edisi 2, terjemahan Lea Prasetyo dan Kusnul Hadi. Erlangga, Jakarta.
2. Enting, I.G. 1998. *Attribution of Greenhouse Gas Emissions, Concentrations and Radiative Forcing*. CSIRO Atmospheric Research Technical Paper No. 38.
3. Forster, Piers., V, 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. Van., 2007. *Chapter 2: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*. Cambridge University Press, Cambridge.
4. Giwangkara, EG. S. 2007. Spektrofotometri Infra Merah. <http://Chem-Is-Try.Org>, diakses 1 April 2010.
5. Hansen, J., Sato, M., Ruedy, M. 1997. *Radiative Forcing and Climate Response*. Geophysical Research Letters, Vol.102, Pages 6831 - 6864.
6. Jacob, Daniel. J. 1999. *Introduction to Atmospheric Chemistry*. Princeton University Press, Princeton New Jersey.
7. 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.
8. Neiburger, Morris., Edinger, James G., Bonner, William D. 1995. *Memahami Lingkungan Atmosfer Kita*, edisi kedua, terjemahan Ardina Purbo. ITB, Bandung.
9. Ramaswamy, V., Boucher, O., Haigh, J., Hauglustaine, D., Haywood, J., Myhre, G., Nakajima, T., Shi, G.Y., Solomon, S. 2001. *Chapter 6: Radiative Forcing of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
10. Salby, Murry L. 1995. *Fundamentals of Atmospheric Physics*. Academic Press, University of Colorado.
11. Seinfeld, J. H. dan S, N. Pandis. 1998. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. John Willey and Sons. USA.
12. Smith, Steven. J. dan Wigley, T. M. L., 2000. *Gobal Warming Potential*. Kluwer Academic Publishers, Climatic Change 44: 459 – 469.
13. Trismidianto, E. Hermawan., T. Samiaji. 2009. *Studi Penentuan Konsentrasi CO₂ dan Gas Rumah Kaca (GRK) Lainnya di Wilayah Indonesia*. LAPAN, Bandung.