

VARIASI TEMPORAL KONSENTRASI KARBON DIOKSIDA (CO₂) DAN TEMPERATUR DI INDONESIA BERBASIS DATA OBSERVASI AQUA-AIRS

Ninong Komala

Bidang Pengkajian Ozon dan Polusi Udara, Pusfatsatklm – LAPAN

Jl. Dr. Djundjunaan 133 Bandung 40173

ninongk@yahoo.com

Abstract

Global CO₂ troposphere at 500 hPa has been observed since 2002 by AIRS (Atmospheric Infra Red Sounder) instrument. Trend and the increasing of tropospheric CO₂ based on AQUA AIRS for Indonesian region (10° N to 10° S, and 95° E to 140° E) for the period of 2002 to February 2010 has been analyzed. Tropospheric CO₂ (at 500 hPa level) in Indonesia region show 337 ppm in 2002 and recently almost reach 390 ppm. CO₂ troposphere in Indonesia reaching maximum in June minimum in September. Contribution of tropospheric CO₂ to surface (1000 hPa) temperature increasing was analyzed by correlating the CO₂ troposphere data with temperature at 1000 hPa in the same data period (2002 to February 2010). The time series analysis of tropospheric CO₂ in Indonesian region show a linear trend of CO₂ increment. Following the equation of $y = 2.0072x - 3646.8$ with $r = 0.992$. The Temperature at 1000 hPa in Indonesian region reaching maximum on May and minimum on September, while temperature at 1000 hPa trend following the equation of $y = 0.1084x + 82.927$ with $r = 0.373$.

Key words: temporal variation, Carbon dioxide (CO₂), temperature, AIRS

Abstrak

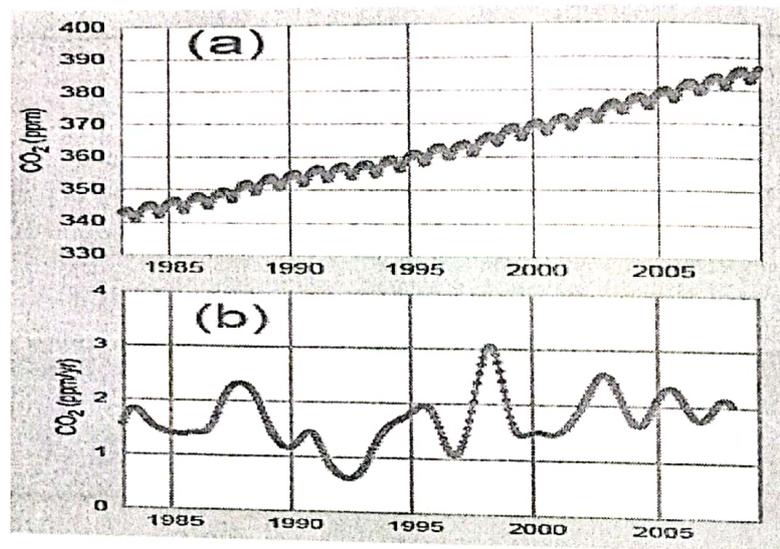
Konsentrasi CO₂ troposfer pada 500 hPa dalam skala global telah diamati sejak tahun 2002 dengan instrument AIRS (Atmospheric Infra Red Sounder). Data CO₂ dari AQUA AIRS untuk wilayah Indonesia (10° LU sampai dengan 10° LS, 95° BT- sampai dengan 140° BT) dari tahun 2002 sampai dengan Februari tahun 2009 telah dianalisis kecenderungan kenaikan konsentrasinya. Konsentrasi CO₂ troposfer (pada ketinggian 500 hPa) di Indonesia pada tahun 2002 bernilai 337 ppm, sedangkan saat ini konsentrasi CO₂ di troposfer Indonesia hampir mencapai 390 ppm. Konsentrasi CO₂ troposfer mencapai maksimum pada bulan Juni dan minimum pada bulan September. Kontribusi konsentrasi CO₂ troposfer terhadap kenaikan temperatur di permukaan bumi (1000 hPa) dianalisis dengan mengkorelasikan data konsentrasi CO₂ troposfer dengan temperatur pada 1000 hPa dalam periode yang sama (2002 sampai dengan Februari 2010). Hasil analisis time series konsentrasi CO₂ troposfer memperlihatkan adanya trend kenaikan yang linier, mengikuti persamaan $y = 2.0072x - 3646.8$ dengan $r = 0.992$. Temperatur pada 1000 hPa mencapai maksimum pada bulan Mei dan minimum pada September, sedangkan trend temperatur pada 1000 hPa mengikuti persamaan $y = 0.1084x + 82.927$ dengan $r = 0.373$.

Kata Kunci: variasi temporal, karbon dioksida (CO₂), temperatur, AIRS

1. PENDAHULUAN

CO₂ adalah satu-satunya gas rumah kaca penting yang diemisikan umat manusia ke atmosfer dengan kontribusi 63.5 % terhadap pengaruh radiasi global. Pada dekade yang lalu kontribusi CO₂ terhadap pengaruh meningkatnya radiasi global adalah 85% dan pada lima tahun terakhir adalah 86%. Pada masa 10000 tahun sebelum revolusi industri, kondisi CO₂ di atmosfer hampir konstan ~ 280 ppm. Kondisi ini menunjukkan kesetimbangan antara atmosfer, lautan dan biosfer. Sejak 1750, CO₂ di atmosfer meningkat 38%, terutama karena emisi dari pembakaran bahan bakar fosil yang mencapai 8.62 Gt karbon pada tahun

2007, deforestasi dan perubahan tata guna lahan yang mencapai 0.5-2.5 Gt karbon per tahun selama periode tahun 2000-2005. Pengukuran CO₂ di atmosfer dengan presisi tinggi telah dimulai pada tahun 1958, memperlihatkan kenaikan rata-rata CO₂ di atmosfer sekitar 55% adalah dari emisi bahan bakar fosil. Sisa CO₂ di atmosfer yang berasal dari bahan bakar fosil ini lepas ke laut dan ke biosfer terrestrial. Secara global, rata-rata konsentrasi CO₂ global di atmosfer pada tahun 2008 adalah 385.2 ppm dan peningkatan dari tahun sebelumnya adalah 2.0 ppm. Laju pertumbuhan pada tahun 2008 ini lebih besar dari rata-rata pada tahun 1990-an yang mencapai ~ 1.5 % per tahun yang penyebab utamanya emisi CO₂ dari pembakaran bahan bakar fosil. (MWO, 2009)

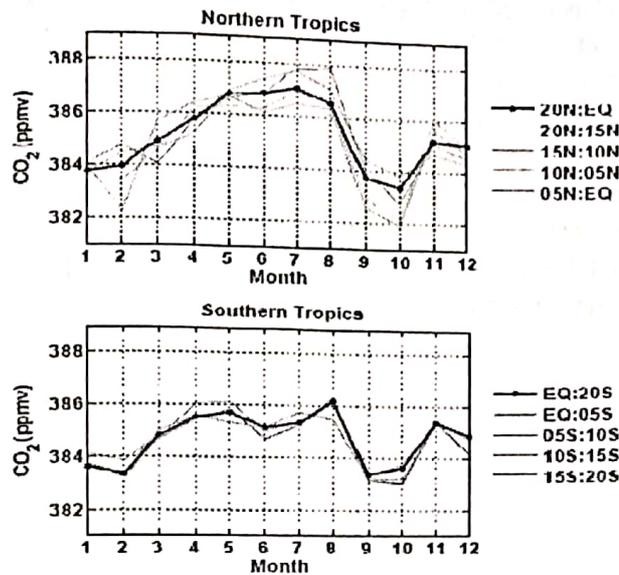


Gambar 1.1. Rata-rata global CO₂ (a) dan laju pertumbuhannya (b) dari tahun 1983 sampai tahun 2008. (WMO,2009)

Telah terjadi peningkatan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer sejak dimulainya revolusi industri karena pertumbuhan pesat aktivitas manusia. Saat ini telah cukup bukti ilmiah yang menunjukkan bahwa meningkatnya konsentrasi CO₂ di atmosfer adalah penyebab utama perubahan global dan perubahan iklim (IPCC, 2007). IPCC (2007) memperkirakan peningkatan CO₂ akan menyebabkan kenaikan temperatur antara 2 °C sampai 4.5 °C.

Konsentrasi CO₂ pada umumnya mempunyai siklus musiman yang bervariasi dari satu tempat ke tempat lainnya. Siklus di ekosistem bumi tersebut bisa berasal dari perubahan musim dan amplitudonya meningkat seperti yang dirasakan pada dekade sekarang ini. Hal ini bisa juga sebagai refleksi dari meningkatnya konsentrasi CO₂ dengan dampak meningkatnya temperatur rata-rata global. Fluktuasi antar tahun berkaitan dengan berubahnya upwelling dari air laut di tropik yang kaya dengan CO₂ dan berubahnya ekosistem di bumi yang terkait dengan iklim regional karena adanya EL Nino dan letusan gunung berapi (Keeling et al., 1989).

Crevoisier dkk (2009) telah melakukan penelitian tentang siklus musiman CO₂, trend dan pola geografis di Lautan Pasifik pada 8 latitudinal band masing-masing 5° dari Januari 2008 sampai Desember 2008 untuk lapisan troposfer tengah sampai troposfer atas dengan menggunakan the Infrared Atmospheric Sounding Interferometer (IASI) dan the Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU) secara simultan. Salah satu hasil untuk daerah utara tropik dan selatan tropik dapat dilihat pada gambar 1.2.



Gambar 1.2. Siklus musiman CO₂ di troposfer tengah sampai troposfer atas dari IASI di atas laut Pasifik pada 8 latitudinal band masing-masing 5° dari Januari 2008 sampai Desember 2008. Gambar atas untuk daerah utara tropik dan gambar bawah untuk daerah selatan tropik. Garis hitam menunjukkan rata-rata dari semua band. (Crevoisier, et al, 2009)

Penelitian keterkaitan konsentrasi CO₂ dan temperatur permukaan di Indonesia masih belum banyak dilakukan, dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat diungkap kondisi, karakteristik dan tendensi kenaikan konsentrasi CO₂ dan temperatur di atmosfer Indonesia secara temporal.

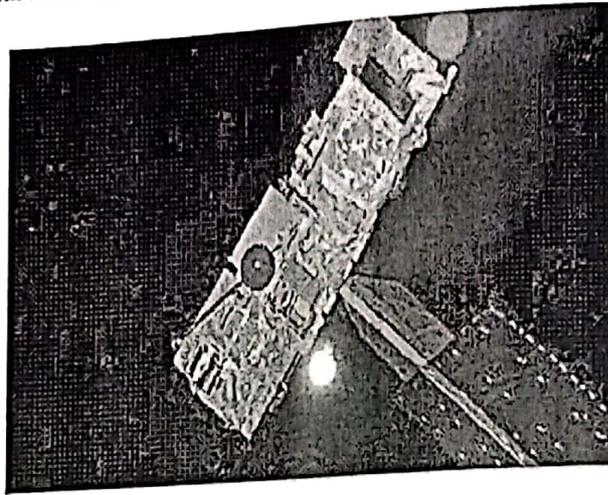
2. DATA DAN METODE

Data Karbon dioksida dari AIRS dalam format file HDF adalah data level 3 mid-troposfer (500 mbar) yang dibawa oleh satelit AQUA. Data berupa data bulanan dengan ukuran grid sel 2.5 derajat lintang x 2 derajat bujur. Data CO₂ ini dalam satuan fraksi mol (ppm). Fraksi mol didefinisikan sebagai jumlah molekul karbon dioksida dibagi jumlah semua molekul di udara (termasuk molekul CO₂ itu sendiri). Fraksi mol dinyatakan dalam part per million (ppm). Contoh: 0.000375 dinyatakan dengan 375 ppm.

Data CO₂ 2.5° x 2° grid sel ini cakupannya dari -180.0° sampai +180.0° bujur dan dari lintang -60.0° sampai +90.0° dengan ketelitian data sampai dengan 1.2 ppm. Data temperatur pada 1000 hPa dari AIRS digunakan juga dalam penelitian ini dengan 1° x 1° grid dengan cakupan dari -180.0° sampai +180.0° bujur dan dari lintang -90.0° sampai +90.0°. Analisis hanya dilakukan untuk data CO₂ dan temperature wilayah Indonesia (10°LU sampai dengan 10° LS, 90° BT sampai dengan 140° BT). Inventarisasi data CO₂ global dan temperatur pada 1000 hPa dari AIRS dari September 2002 sampai dengan Februari 2010.

Mengkonversi data konsentrasi CO₂ dari format HDF dan kropping data untuk wilayah Indonesia (10°LU - 10° LS, 90° BT - 140° BT). Dilakukan analisis data time series CO₂ dan temperatur pada 1000 hPa wilayah Indonesia tahun 2002-2010 serta karakterisasi pola musimannya. Di analisis pula keterkaitan antara trend CO₂ dan temperatur pada 1000 hPa.

AIRS (Atmospheric Infra Red Sounders) merupakan bagian dari Earth Observing System (EOS) dan merupakan satu dari enam instrument yang ditempatkan pada satelit AQUA milik NASA yang diluncurkan pada 4 Mei 2002. AIRS dirancang untuk mendukung riset tentang iklim dan mengembangkan prediksi cuaca secara global. AIRS beroperasi bersamaan dengan microwave instrument the Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU-A), AIRS mengamati siklus global air dan energi, variasi iklim dan kecenderungannya serta respon sistem iklim terhadap meningkatnya gas rumah kaca. AIRS menggunakan teknologi infra merah untuk membuat peta udara dan temperatur permukaan, uap air dan sifat awan. AIRS juga dapat mengukur trace gases dan gas rumah kaca seperti ozon, karbon monoksida, karbon dioksida dan metana.



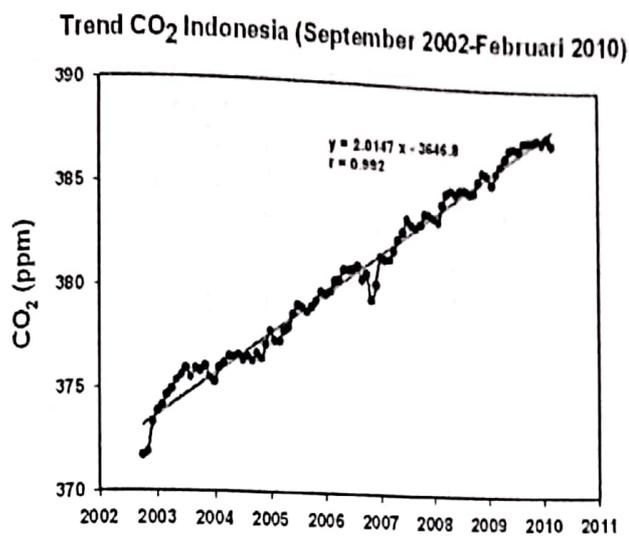
Gambar 1.3 Instrument AIRS pada satelit AQUA (<http://jpl.nasa.gov>)

AIRS juga merupakan spektrometer dengan resolusi spektral yang tinggi dengan 2378 band pada infra merah ($3.7 \mu\text{m}$ - $15.4 \mu\text{m}$) dan 4 band pada daerah visibel ($0.4 \mu\text{m}$ - $1.0 \mu\text{m}$). Range ini dipilih secara spesifik untuk dapat menentukan temperatur atmosfer dengan ketelitian 1°C pada lapisan dengan ketebalan 1 km, dan kelembapan dengan ketelitian 20% pada ketebalan lapisan 2 km di troposfer.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi CO_2 Troposfer di Indonesia dari data AIRS

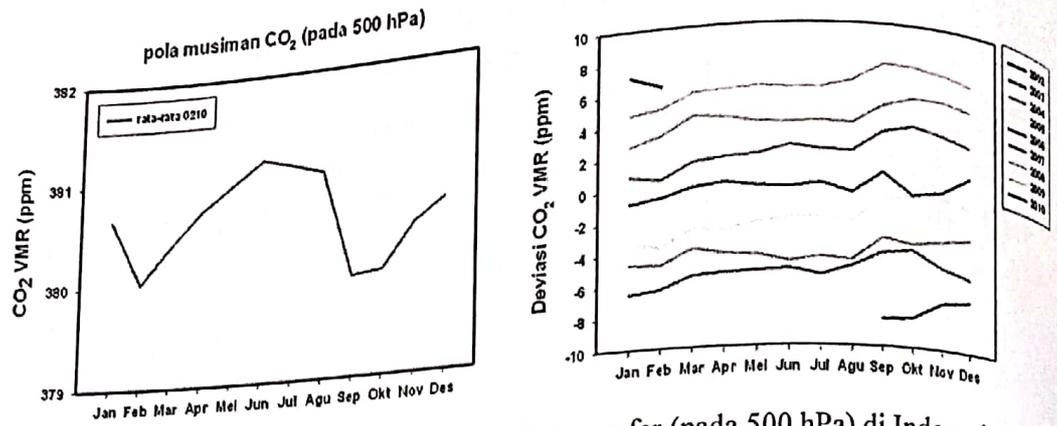
Data CO_2 tahun 2002-2010 untuk wilayah Indonesia (rata-rata 10°LU sampai dengan 10°LS , 90°BT sampai dengan 140°BT) dibuat analisis time seriesnya dengan memplot data rata-rata wilayah Indonesia setiap bulan, seperti yang terlihat pada gambar 3.1. Analisis time series konsentrasi CO_2 di Indonesia menunjukkan peningkatan yang terus menerus. Trend peningkatan konsentrasi CO_2 troposfer (pada ketinggian 500 hPa) di Indonesia mengikuti persamaan regresi linier dengan persamaan $y = 2.0072x - 3646.8$ dengan $r = 0.992$. Konsentrasi CO_2 di Indonesia pada September 2002 adalah 371.70 ppm dan meningkat terus menjadi 387.39 ppm pada bulan Februari 2010.



Gambar 3.1. Konsentrasi CO₂ pada 500 hPa di Indonesia dari September 2002 sd. Februari 2010 (Sumber data: AIRS)

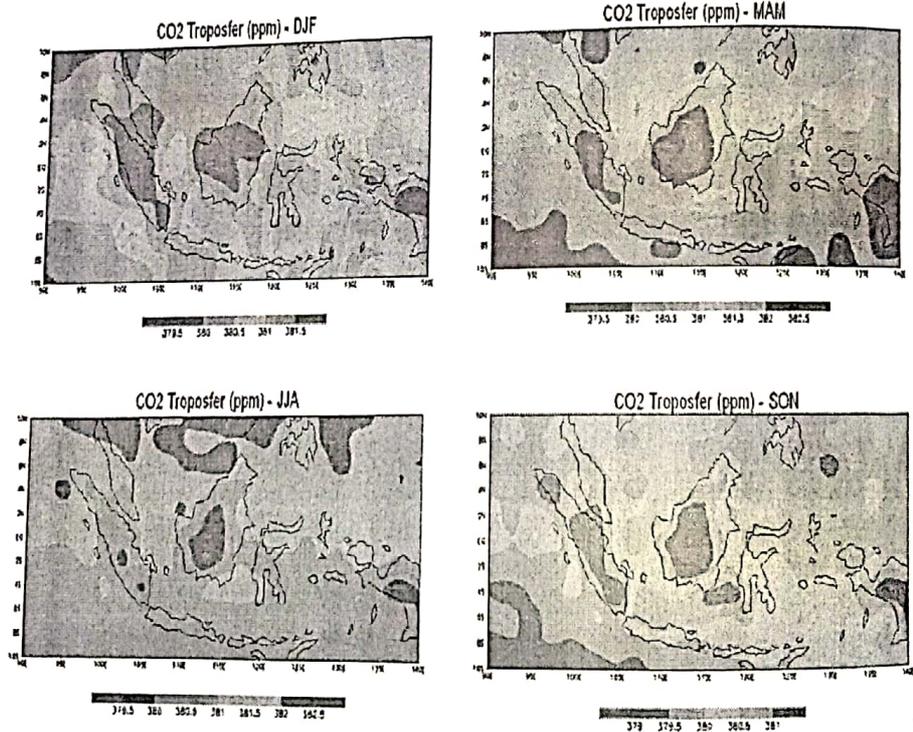
Berdasarkan persamaan regresi linier yang diperoleh, laju pertumbuhan CO₂ troposfer Indonesia adalah 0.167 ppm/bulan atau hampir 2.01 ppm/tahun. Rata-rata konsentrasi CO₂ di Indonesia saat ini adalah 380.65 ppm, nilai ini lebih rendah dari konsentrasi global pada tahun 2008 yang mencapai 385.2 ppm, tetapi laju pertumbuhan konsentrasi CO₂ di Indonesia lebih tinggi 0.1 ppm/tahun dibandingkan dengan yang dikemukakan WMO (2009).

Pada Gambar 3.2 dapat dilihat rata-rata pola variasi musiman konsentrasi CO₂ troposfer di Indonesia dari tahun 2002-Februari 2010. Pola variasi musiman secara umum menunjukkan nilai konsentrasi CO₂ maksimum pada bulan Mei dan minimum pada bulan September. Deviasi variasi musiman terhadap variasi rata-rata 2002 sampai dengan 2010 menunjukkan bahwa pola musiman konsentrasi CO₂ di troposfer Indonesia pada tahun 2002 sampai dengan tahun 2006 lebih kecil dari pola musiman rata-rata (nilai deviasi negatif) dan pola musiman pada tahun 2007 sampai dengan saat ini menunjukkan nilai deviasi positif hampir ~ 6 ppm. Pola variasi musiman konsentrasi CO₂ troposfer di Indonesia polanya hampir mirip dengan hasil penelitian Crevoisier, et al, 2009 walaupun konsentrasinya lebih rendah tetapi kondisi maksimum dan minimumnya berbeda yaitu maksimum pada bulan Juli dan minimum pada bulan Oktober untuk daerah utara tropik, sedangkan untuk selatan tropik CO₂ maksimum pada bulan Agustus dan minimum pada bulan September



Gambar 3.2. Pola rata-rata variasi musiman CO₂ troposfer (pada 500 hPa) di Indonesia (kiri) dan deviasi pola musiman CO₂ troposfer Indonesia dari September tahun 2002 sampai dengan Februari 2010 (kanan). (Sumber data: AIRS)

Pola musiman CO₂ troposfer Indonesia dari September 2002 sampai Februari 2010 untuk musim basah (DJF), peralihan (MAM), musim kering (JJA) dan peralihan (SON) dapat dilihat pada Gambar 3.3.



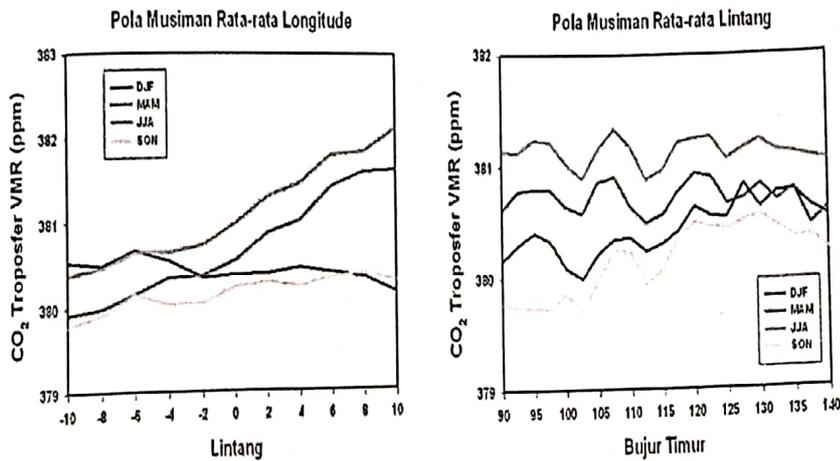
Gambar 3.3. Variasi musiman konsentrasi CO₂ troposfer untuk DJF, MAM, JJA dan SON dari data 2002-2010 (Sumber data: AIRS).

Range konsentrasi CO₂ Indonesia pada DJF adalah 379.5 ppm ~ 381.5 ppm. Konsentrasi CO₂ di Sumatra, Kalimantan dan Papua lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi CO₂ di Pulau Jawa dan Sulawesi. Range konsentrasi CO₂ Indonesia pada MAM adalah 379.5 ppm ~ 382.5 ppm. Hampir sama dengan kondisi pada DJF, konsentrasi

CO₂ di Sumatra, Kalimantan dan Papua lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi CO₂ di Pulau Jawa dan Sulawesi.

Range konsentrasi CO₂ Indonesia pada JJA sama dengan range pada MAM yaitu 379.5 ppm ~ 382.5 ppm. Konsentrasi CO₂ di Sumatra, Kalimantan dan Papua lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi CO₂ di Pulau Jawa dan Sulawesi. Sedangkan range konsentrasi CO₂ Indonesia pada SON sedikit lebih rendah dibanding dengan kondisi DJF yaitu 379.0 ppm ~ 381.0 ppm. Pada musim ini konsentrasi CO₂ di Pulau Jawa dan Sulawesi, jauh lebih tinggi dibanding dengan di Sumatra, Kalimantan dan Papua sebelah timur.

Pada Gambar 3.4 dapat dilihat rata-rata variasi musiman DJF, MAM, JJA dan SON konsentrasi CO₂ di Indonesia untuk rata-rata longitude (kiri) dan rata-rata lintang (kanan). Rata-rata longitude menunjukkan range konsentrasi 379 ppm-383 ppm dengan semakin ke utara semakin tinggi pada MAM dan JJA, SON dan DJF agak terbalik. Pada pola musiman rata-rata lintang, MAM dan JJA polanya sama, sedangkan DJF dan SON semakin ke timur konsentrasi CO₂ lebih tinggi

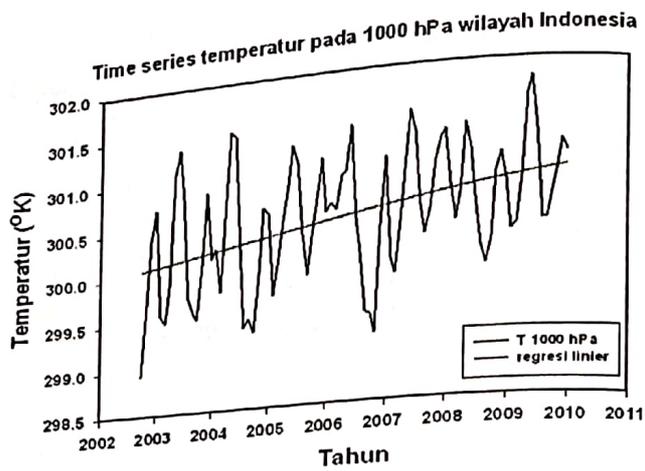


Gambar 3.4. Rata-rata variasi musiman DJF, MAM, JJA dan SON konsentrasi CO₂ di Indonesia rata-rata longitude (kiri) dan rata-rata lintang (kanan). (Sumber data:AIRS).

Mengingat Indonesia terdiri dari 30% daratan dan 70% lautan, variasi spasial dan temporal konsentrasi CO₂ di atmosfer Indonesia juga mengandung informasi tentang sifat dasar dan karakteristik dari proses pertukaran CO₂ antara atmosfer dan biosfer daratan serta lautan (Machida et al; 2007).

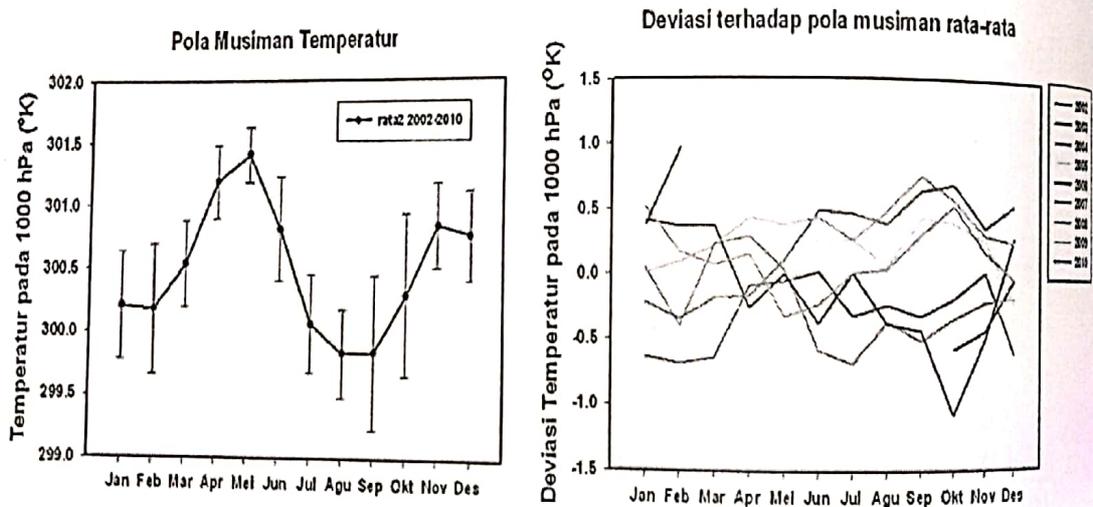
3.2. Temperatur pada 1000 hPa di Indonesia dari AIRS

Time series temperatur pada 1000 hPa di Indonesia dari AIRS pada September 2002 sampai dengan Februari 2010 memperlihatkan adanya trend kenaikan (dapat dilihat pada Gambar 3.5). Trend temperatur pada 1000 hPa mengikuti persamaan $y = 0.1084 x + 82.927$ dengan $r = 0.373$.



Gambar 3.5. Trend temperatur pada 1000 hPa di Indonesia dari September 2002 sampai dengan Februari 2010 (Sumber data: AIRS)

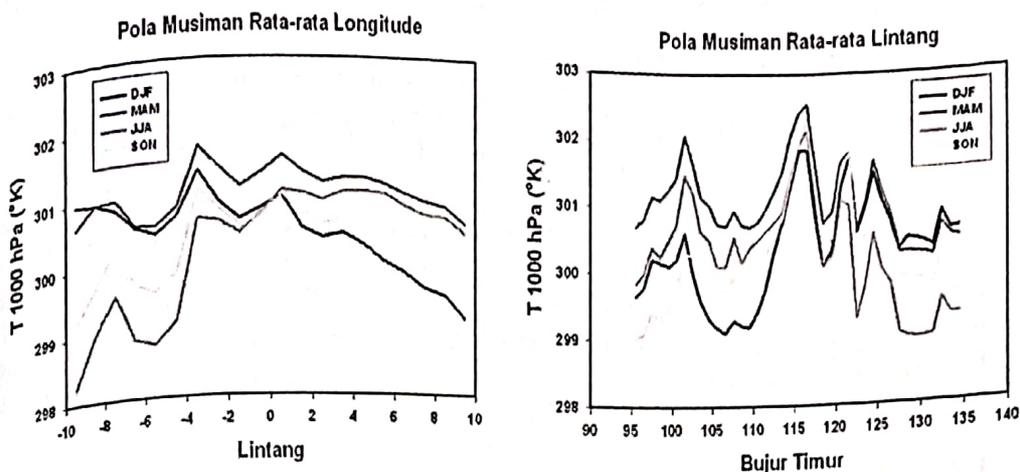
Pola musiman temperatur pada 1000 hPa dari data September 2002 sampai dengan Februari 2010 menunjukkan temperatur maksimum pada bulan Mei dan minimum pada bulan September, dan deviasi variasi musiman temperatur terhadap variasi temperatur rata-rata mempunyai range -1.5° sampai dengan $+1.5^{\circ}$ (Gambar 3.6). Deviasi pola musiman temperatur tahun 2006 untuk bulan Oktober menunjukkan minimum tidak seperti bulan Oktober pada tahun lainnya yang menunjukkan nilai deviasi yang positif.



Gambar 3.6. Pola musiman rata-rata (tahun 2002 sampai 2010) temperatur pada 1000 hPa di Indonesia (kiri), dan deviasi variasi musiman temperatur masing-masing tahun terhadap pola musiman rata-rata (Sumber data: AIRS).

Rata-rata variasi musiman DJF, MAM, JJA dan SON temperatur pada 1000 hPa di Indonesia rata-rata longitude (kiri) dan rata-rata lintang (kanan) dapat dilihat pada Gambar 3.7.

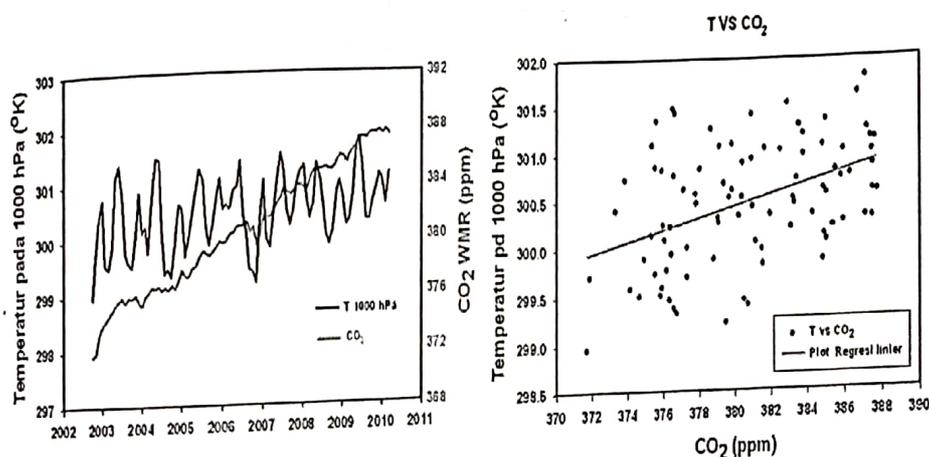
Variasi musiman DJF, MAM, JJA dan SON temperatur pada 1000 hPa berdasarkan rata-rata longitude menunjukkan range temperatur antara 298°K - 301.5°K , semua musim menunjukkan maksimum tepat di ekuator dan 3°LS . Pada pola musiman rata-rata lintang, range temperatur adalah antara 298°K - 302.5°K pola musiman DJF, MAM, JJA dan SON hampir sama yaitu menunjukkan peak di 117°BT dan minimum pada 95°BT dan 130°BT . Temperatur pada musim MAM lebih tinggi dari musim lainnya.



Gambar 3.7. Rata-rata variasi musiman DJF, MAM, JJA dan SON temperatur pada 1000 hPa di Indonesia rata-rata longitude (kiri) dan rata-rata lintang (kanan). (Sumber: AIRS).

3.3. Korelasi Temperatur pada 1000 hPa dan CO₂ Troposfer

Untuk melihat hubungan antara CO₂ troposfer dan temperatur pada 1000 hPa dibuat plotting antara konsentrasi CO₂ troposfer dan temperatur pada 1000 hPa untuk Indonesia dari September 2002 sampai Februari 2010. Korelasi antara kenaikan konsentrasi CO₂ troposfer dengan temperatur pada 1000 hPa menunjukkan hubungan yang linier mengikuti persamaan $y = 0.0613x + 277.15$ dengan koefisien korelasi 0.42 (dapat dilihat pada Gambar 3.8)



Gambar 3.8. Plotting konsentrasi CO₂ dan temperatur (kiri) dan korelasi kenaikan temperatur karena meningkatnya konsentrasi CO₂ di Indonesia untuk data September 2002 - sampai dengan Februari 2010

Menurut persamaan $y = 0.0613x + 277.15$ dengan koefisien korelasi 0.42, pada saat CO₂ 390 ppm maka temperaturnya menjadi 301.057 °K, dari perhitungan ini setiap kenaikan 1 ppm CO₂ akan meningkatkan temperatur sebesar 0.061 °K. Seandainya pada suatu saat CO₂ menjadi 400 ppm, maka temperatur akan menjadi 301.670 °K.

4. KESIMPULAN

Data CO₂ dan Temperatur pada 1000 hPa dari AIRS untuk wilayah Indonesia dari tahun 2002 sampai Februari 2010 telah dianalisis secara temporal. Hasil analisis menunjukkan konsentrasi CO₂ di Indonesia mengalami peningkatan dari 370 ppm menjadi ~ 390 ppm pada Februari 2010. Secara umum konsentrasi CO₂ di Indonesia mencapai maksimum pada bulan Mei dan minimum pada bulan September. Pola musiman temperatur pada 1000 hPa mencapai maksimum pada bulan Mei dan minimum pada bulan September. Korelasi kenaikan konsentrasi CO₂ dengan T pada 1000 hPa memperlihatkan hubungan yang linier dengan persamaan $y = 0.0613x + 277.15$ dan koefisien korelasi ~ 0.42. Dengan mengiktui persamaan yang diperoleh dari hasil penelitian ini, kenaikan konsentrasi CO₂ dengan T pada 1000 hPa ada keterkaitan yaitu kenaikan 1 ppm CO₂ akan meningkatkan temperatur pada 1000 hPa sebesar 0.061 °K.

DAFTAR RUJUKAN

- AIRS homepage at JPL (<http://airs.jpl.nasa.gov/>)
- Crevoisier, C, A. Ch'edin, H. Matsueda, T. Machida, R. Armante, and N. A. Scott, 2009, First year of upper tropospheric integrated content of CO₂ from IASI hyperspectral infrared observations, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 9, 8187–8222.
- IPCC Climate Change 2007, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Keeling et al., 1989
- Machida, T, H. Matsueda and Y. Sawa, A new JAL project: CONTRAIL *Comprehensive Observation Network for TRace gases by AirLiner, Igactivities*, No 37, November 2007, page 23-30.
- WMO, Green House Gas Bulletin, No. 5: 23 November 2009.