

# PENINGKATAN OZON TROPOSFER DAN OZON PREKURSOR (CO) PADA SAAT KEBAKARAN HUTAN TAHUN 2004

Tuti Budiwati

Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer Dan Iklim-LAPAN  
Jl. dr. Djundjuran 133, Bandung, e-mail: [tuti\\_lapan@yahoo.com](mailto:tuti_lapan@yahoo.com)

## Abstrak:

Kebakaran hutan/lahan di Indonesia yang selalu terjadi setiap tahun sering menjadi pusat perhatian dunia, karena 10 % hutan tropis berada di Indonesia. Sepanjang musim kemarau dari Juni sampai Oktober tahun 2004 terjadi kebakaran hutan yang luas di Indonesia, meliputi Sumatra dan Kalimantan. Kebakaran hutan ini menghasilkan karbon monoksida (CO) yang tinggi. Data karbon monoksida berupa image diperoleh dari satelit dengan instrument MOPITT (Measurements of Pollution in the Troposphere). Karbon monoksida pada 850 hektopascal (sekitar 1-2 km ketinggian) dengan konsentrasi 0 – 250 ppbv. Meningkatnya karbon monoksida akan meningkatkan ozon troposfer, karena karbon monoksida sebagai prekursor ozon. Data ozon troposfer yang diperoleh dari TOMS (Total Ozon Mapping Spectrometer) dari bulan Juni sampai Oktober 2004, berkisar sekitar 20 - 38 DU (Dobson Unit).

**Kata kunci:** Indonesia, kebakaran hutan, CO, Ozon, troposfer

## Abstract:

The forest fires of Indonesia which always occurred every year, often become the cynosure of world, because of 10 % tropical forest reside in Indonesia. As long as dry season from June until October 2004, the wide forest fire occurred in Indonesia, covering Sumatra and Kalimantan. This forest fires produced the high concentrations of carbon monoxide (CO). The carbon monoxide data in the form of image was obtained from satellite with MOPITT instrument (Measurements of Pollution in the Troposphere). Carbon monoxide at altitude of 850 hectopascals (hPa) or about of 1-2 km had concentration of 0 – 250 ppbv. The increasing of carbon monoxide will improve troposphere ozone (O<sub>3</sub>), due to carbon monoxide as ozone precursor. The ozone troposphere data was obtained from TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) from June until October 2004, fluctuated about of 20 - 38 DU (Dobson Unit).

**Keyword:** Indonesia, forest fire, CO, ozone (O<sub>3</sub>), troposphere.

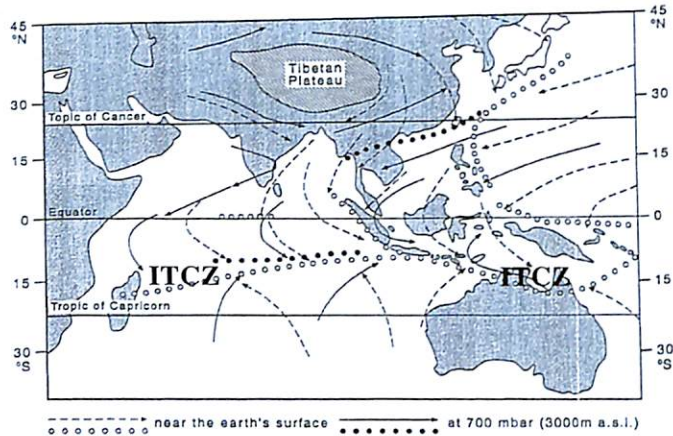
## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan, 2/3 wilayahnya terdiri dari lautan dengan daratan yang membujur sepanjang garis equator dalam wilayah tropis. Wilayah tropis ini terletak pada 6 °LU sampai 11 °LS dan 95 °BT sampai 142,5 °BT. Hutan tropis di Indonesia sebagian besar terdapat di Sumatra, Kalimantan dan Irian, dan merupakan 10 % dari total hutan tropis dunia. Keberadaan hutan tropis sangat penting, mengingat fungsinya sebagai paru-paru dunia.

Hutan tropis sebagai paru-paru dunia yang berfungsi untuk menyaring polutan-polutan udara ternyata mengalami kebakaran pada setiap tahunnya. Sebuah perkiraan awal hasil penginderaan jauh atas lahan yang terbakar pada tahun 1997 menunjukkan bahwa sekitar 1,5 juta hektar lahan di Sumatra dan 3,06 juta hektar di Kalimantan telah rusak (Liew et al, 1998 dalam Schweithelm dan Glove, 1998). Kebakaran hutan sering terjadi di musim kemarau panjang seperti pada tahun 2004. Dampak dari kebakaran hutan adalah turunnya jarak pandang dan meningkatnya gas-gas hasil pembakaran *biomass* seperti CO<sub>2</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>Cl, hidrokarbon lainnya dan aerosol ke udara. Peningkatan gas-gas dan aerosol ini akan mengalami reaksi kimia di atmosfer untuk membentuk ozon dan hujan asam. Selain itu gas-gas hasil kebakaran hutan seperti CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, ozon akan menjadi penyebab pemanasan global karena sifatnya sebagai gas rumah kaca di troposfer. Mengingat ozon di daerah troposfer akan menerima lebih dahulu dampak dari kebakaran hutan, maka akan dilihat kondisi ozon troposfer dengan ozon precursor (CO).

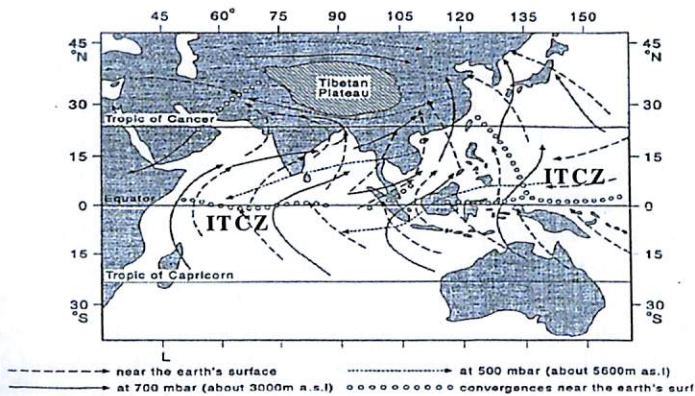
## 2. IKLIM INDONESIA

Zona awan penghasil hujan di daerah tropis ada dua yaitu Intertropical Convergence Zone (ITCZ) dan South Pacific Convergence Zone (SPCZ). Pergeseran musim di Indonesia dipengaruhi oleh posisi kedua zona awan penghasil hujan tersebut (Gregor and Nieuwolt, 1998).



Gambar 2.1. Monsun dan ITCZ musim dingin Asia, Desember – Maret  
(sumber : Mc. Gregor G.R. and Nieuwolt S., 1998).

Pada bulan Desember – Maret, matahari berada di atas belahan bumi selatan (BBS), sehingga BBS menerima energi matahari yang relatif lebih panjang dan panas dibandingkan belahan bumi utara (BBU). Akibatnya angin pasat timur laut berhembus dari utara ke selatan dan menimbulkan terbentuknya ITCZ di selatan Indonesia. Posisi ITCZ melintasi sebagian besar daerah di Indonesia (Gambar 2.1). Pada bulan-bulan tersebut Indonesia dipengaruhi angin dari barat menuju daerah-daerah di Indonesia. Wilayah dengan ITCZ yang melintasi di atasnya mempunyai potensi kejadian hujan yang besar. Terlebih lagi pada bulan Desember sampai dengan Maret, angin yang berasal dari laut Pasifik banyak mengandung uap air, sehingga potensi turunnya hujan dengan intensitas yang tinggi cukup besar.



Gambar 2.2. Monsun dan ITCZ musim panas Asia, Juni – September  
( sumber: Mc. Gregor G.R. and Nieuwolt S., 1998).

Pada bulan Juni – September, matahari berada di atas belahan bumi utara (BBU), sehingga BBU lebih panas dibandingkan belahan bumi selatan (BBS). Akibatnya angin Pasat Tenggara berhembus dari selatan ke utara menimbulkan terbentuknya ITCZ di Indonesia. Posisi ITCZ berada di utara *equator*, dan berada di atas khatulistiwa (Gambar 2.2). Pada bulan-bulan tersebut potensi kejadian hujan berkurang. Hal ini diperkuat dengan kenyataan bahwa angin timur pada saat tersebut kurang mengandung uap air. Curah hujan di Indonesia pada Juni sampai dengan September menunjukkan nilai yang rendah.

Variasi dari ITCZ mempengaruhi empat musim di Indonesia yaitu:

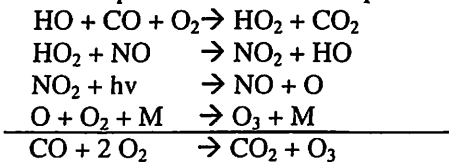
- musim kemarau dari Juni sampai Agustus (JJA)
- musim peralihan kemarau ke hujan dari September sampai Nopember (SON)
- musim hujan dari Desember sampai Februari (DJF)
- musim peralihan hujan ke kemarau dari Maret sampai Mei (MAM)

Musim kering atau kemarau di Indonesia sering disertai oleh adanya kebakaran hutan yang luas, sehingga kami ingin melihat kejadian ini dengan adanya gas CO yang melimpah.

### 3. MEKANISME OZON TROPOSFER

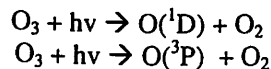
Ozon troposfer adalah ozon di atmosfer pada ketinggian di bawah 10-16 km, dan ozon stratosfer berada pada ketinggian < 50 km. Sumber ozon troposfer adalah transport dari stratosfer dan reaksi di tempat karena adanya ozon “precursor” seperti CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, NMHC. Gas-gas ini dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil berupa gas buang. Sedang pembakaran biomass seperti kebakaran hutan akan menghasilkan gas-gas seperti CO, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>Cl dan NO<sub>x</sub>. Bila ozon *precursor* di troposfer meningkat, maka ozon troposfer akan meningkat pula tentunya. Mekanisme ini tentunya bisa dilihat dari proses pembentukan dan pengrusakan ozon (Anderson and Herschbach, 1985; Meszaros, 1981; Seinfeld and Pandis, 1998).

a. Reaksi pembentukan ozon troposfer karena adanya CO



b. Reaksi pengrusakan ozon troposfer

Ozon troposfer dirusak oleh reaksi fotolisa:



O(^1D) yang bersifat metastabil dihilangkan oleh O<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>: O(^1D) + M → O(^3P) + M

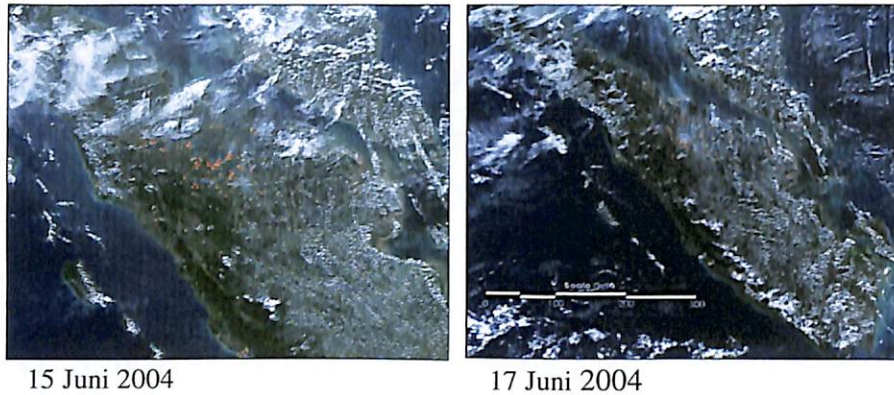
Bila bereaksi dengan H<sub>2</sub>O membentuk gugus hidroksil (HO): O(^1D) + H<sub>2</sub>O → HO + HO

Ozon dapat bereaksi langsung dengan nitrogen oksida (NO): O<sub>3</sub> + NO → NO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>

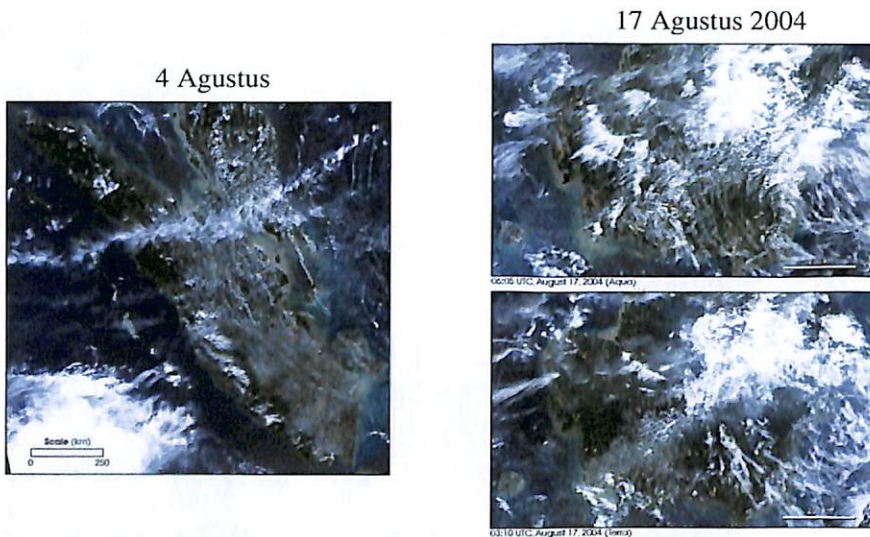
### 4. KEBAKARAN HUTAN 2004

Kebakaran hutan pada bulan Juni 2004 (15 dan 17 Juni) yang terekam oleh sensor MODIS (the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometers) dari satelit Aqua NASA memperlihatkan kawasan kebakaran di Sumatra, terlihat titik-titik api terbanyak di Riau (Gambar 4.1). Pembukaan lahan-ilegal maupun legal yang tak memperhitungkan

keseimbangan alam dan lingkungan selama bertahun-tahun telah menyusutkan hutan Riau. Data dari Dinas Kehutanan Riau menunjukkan, tahun 2004 hutan di provinsi itu tinggal 16 persen atau hanya 1,5 juta hektar dari total luas daratan 9,4 juta hektar. Namun, dengan laju degradasi hutan alam 100.000 hektar per tahun, hutan alam Riau saat ini dipastikan tinggal kurang dari satu juta hektar saja (Kompas, Jumat 24/6/2006).



Gambar 4.1. Kebakaran hutan yang diambil oleh sensor MODIS dari satelit Aqua NASA pada 15 Juni dan 17 Juni 2004.

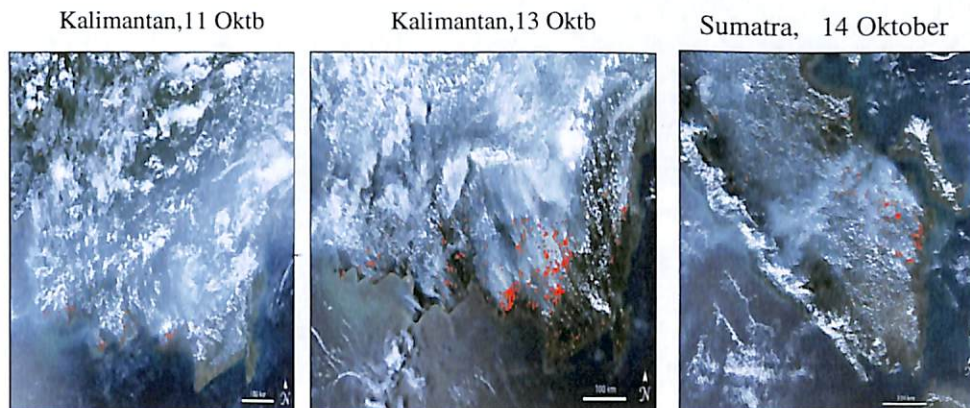


Gambar 4.2. Kebakaran hutan di Sumatra pada 4 Agustus 2004. Kebakaran hutan di Pulau Kalimantan dalam kondisi berawan (bintik-bintik kuning) yang diambil oleh sensor MODIS dari satelit Terra dan Aqua NASA pada 17 Agustus 2004. *Image* atas direkam pada sore waktu lokal dan *image* bawah pada pagi hari.

Titik-titik api pada bulan Agustus 2004 yang terpantau oleh MODIS terlihat meluas di seluruh Sumatra dan Kalimantan Selatan (Gambar 4.2 dan 4.3). Kebakaran hutan yang lebih luas dan rapat telah terjadi dari Riau sampai ujung selatan Sumatra.

Kebakaran hutan yang terjadi di Kalimantan pada tanggal 17 Agustus 2004 sore hari memperlihatkan aktivitas kebakaran lebih banyak dibandingkan pada pagi hari. *Image* atas adalah kebakaran pada sore hari waktu lokal (setempat) dan *image* bawah adalah kebakaran pada pagi hari yang terekam oleh MODIS dari satelit Terra dan Aqua milik NASA (Gambar 4.3), keduanya dalam kondisi berawan. Bagian terbesar dari pulau (bagian selatan dan tengah) Kalimantan (Indonesia), sedangkan kepingan bagian utara adalah wilayah Sarawak Malaysia. Kebakaran terbanyak adalah sepanjang daerah rawa-rawa bagian barat dan garis pantai selatan Kalimantan.

Dari pantauan satelit Aqua milik NASA pada bulan Oktober tanggal 11, 13 dan 14 terlihat kebakaran besar di Kalimantan dan Sumatra. Titik-titik merah adalah titik-titik api yang banyak terdapat di ujung selatan Kalimantan dan Sumatra. Kebakaran yang besar dan luas dapat dilihat dari titik-titik api yang rapat dan banyak serta rata. Kejadian kebakaran di Sumatra dan Kalimantan akan mempengaruhi kondisi lingkungan atmosfer di atasnya serta atmosfer wilayah terdekat seperti Jawa dan Malaka.



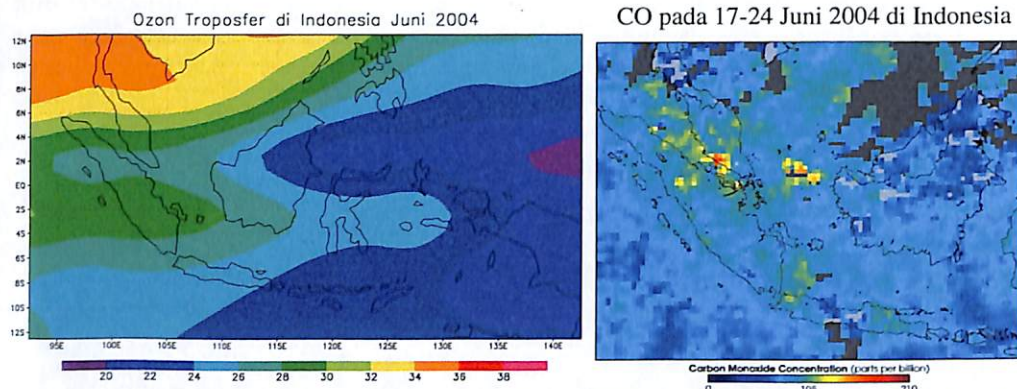
Gambar 4.4. Kebakaran hutan di pulau Kalimantan (11 dan 13 Oktober 2004) dan Sumatera (14 Oktober 2004) dalam kondisi berawan (bintik-bintik merah) yang diambil oleh sensor MODIS dari satelit Aqua NASA.

Dampak yang dapat ditimbulkan oleh kebakaran hutan adalah naiknya polutan CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, partikel-partikel dan asap tebal. Ketebalan asap akan menurunkan visibilitas atau jarak pandang yang mengganggu lalu lintas udara secara temporal pada saat terjadi kebakaran sampai masa hilangnya asap. Di sisi lain dapat meningkatkan konsentrasi ozon permukaan di Indonesia, terutama daerah terdekat pusat kebakaran.

## 5. OZON TROPOSFER DAN CO DI INDONESIA 2004

Bila melihat mekanisme pembentukan dan pengrusakan ozon troposfer maka faktor musim juga berperan terhadap ozon. Pada musim hujan keberadaan H<sub>2</sub>O relatif tinggi bila dibandingkan pada musim kemarau dan akan merusak atau menurunkan konsentrasi ozon troposfer. Musim kemarau yang kering dengan kandungan H<sub>2</sub>O relatif lebih kecil, tetapi sering terjadi kebakaran hutan di wilayah Sumatra dan Kalimantan akan memberikan peningkatan ozon troposfer disebabkan adanya ozon *precursor* (CO) yang melimpah. Kebakaran hutan yang terjadi sepanjang musim kemarau disebabkan pembukaan lahan untuk pertanian dan pengolahan HPH menghasilkan asap yang

melimpah. Akibatnya berdampak pada peningkatan gas CO yang cukup tinggi pada tahun 2004. Oleh sebab itu dalam penelitian ini akan di fokuskan pada bulan Juni, Agustus dan Oktober 2004 yang mewakili saat terjadinya kebakaran hutan di musim kemarau tahun tersebut. Berdasarkan data ozon yang diperoleh dari satelit TOMS (Total Ozone Mapping Spectrophotometer- NASA) tahun 2004 dibuat kontur ozon diatas Indonesia untuk Juni, Agustus dan Oktober. Batasan lintang atau wilayah kontur untuk Indonesia adalah 12° Lintang Selatan sampai 10° Lintang Utara dan 95° Bujur Timur sampai 140° Bujur Timur.

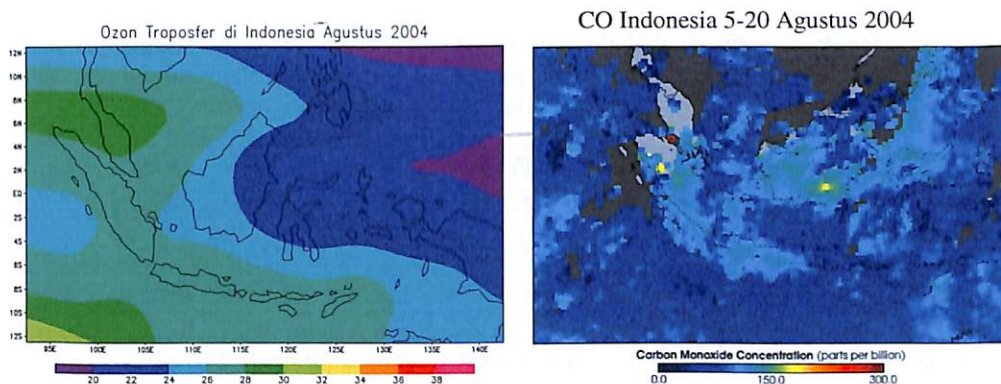


Gambar 5.1. Ozon troposfer (Dobson Unit atau DU) rata-rata Juni 2004 dan CO (ppbv) rata-rata pada 17-24 Juni 2004 di Indonesia berdasarkan hasil pantauan MOPITT sensor dalam satelit Terra milik NASA.

Pada Gambar 5.1 memperlihatkan kondisi ozon troposfer dan CO hasil pantauan MOPITT (*The Measurements Of Pollution In The Troposphere*) di Indonesia pada 17-24 Juni 2004. MOPITT adalah peralatan pengukur polusi di troposfer yang terpasang dalam satelit Terra milik NASA-Amerika. Konsentrasi ozon terlihat tinggi di Sumatra dan Ujung semenanjung Malaka (Malaysia) yaitu dalam kisaran 28 -32 DU (Dobson Unit), selanjutnya menurun di wilayah Indonesia bagian timur seperti di Nusa Tenggara sampai Papua dengan kisaran konsentrasi 20 – 22 DU. Kalimantan bagian selatan dan ujung barat Jawa pada bagian yang terdekat Sumatra mempunyai konsentrasi ozon lebih tinggi yaitu 26 – 28 DU, hal ini disebabkan adanya pengaruh angin pasat tenggara yang berhembus dari selatan ke utara. Daerah Indonesia barat seperti Sumatra tepatnya di Riau terjadi kebakaran hutan yang cukup luas pada Juni tahun 2004. Hasil pantauan MOPITT di Indonesia pada 17-24 Juni 2004, konsentrasi rata-rata CO adalah 0-210 ppbv. Sehingga konsentrasi CO terlihat tinggi dalam kisaran 76-150 ppbv dari warna biru muda sampai kuning merah di Sumatra, Ujung semenanjung Malaka (Malaysia), selat Malaka dan Kepulauan Bangka-Belitung antara Malaka dan Kalimantan, juga sampai laut Jawa dekat Jakarta. Konsentrasi CO dalam kisaran 105 ppbv hampir merata di Sumatra, Jawa dan Kalimantan Selatan. Dampak yang dapat ditimbulkan adalah peningkatan ozon troposfer pada Juni 2004 di Sumatra dan menyebar sampai laut di sebelah barat Kalimantan. Pada bulan Juni di Indonesia angin pasat tenggara berhembus dari selatan ke utara berbelok ke arah timur tepatnya di garis katulistiwa Sumatra dan menimbulkan penyebaran CO sampai Malaysia, Kalimantan dan Jawa. Peningkatan CO di daerah kebakaran seperti Sumatra dan Kalimantan Selatan dan juga Jawa berkorelasi dengan baik pada konsentrasi ozon troposfer yang tinggi di bagian Indonesia Barat.

Pada bulan Agustus 2004 terjadi kebakaran hutan di hampir seluruh Sumatra dan terbanyak di ujung selatan Sumatra, juga di selatan Kalimantan. Akibatnya konsentrasi karbon monoksida (CO) adalah tinggi sebagaimana hasil pantauan MOPITT. Gambar *image* dari pengamatan MOPITT selama 5-20 Agustus 2004 memperlihatkan CO pada 850 *hectopascals* (ketinggian 1-2 kilometer) di Indonesia adalah 0-300 ppbv seperti dalam Gambar 5.2. Secara umum konsentrasi CO dalam kisaran yang sama dengan bulan Juni yaitu berkisar 105-225 ppbv dari warna biru muda sampai kuning di ujung selatan Sumatra dan Kalimantan serta Jawa Barat sampai Jawa Tengah. Konsentrasi tertinggi adalah 300 ppbv dalam warna merah hanya satu titik di daerah selat Malaka dekat Riau. Peningkatan konsentrasi CO di Jawa Barat tentunya ada pengaruh penyebaran polutan dari kebakaran Sumatra Selatan, sedangkan Jawa Tengah kemungkinan pengaruh dari kebakaran Kalimantan Selatan.

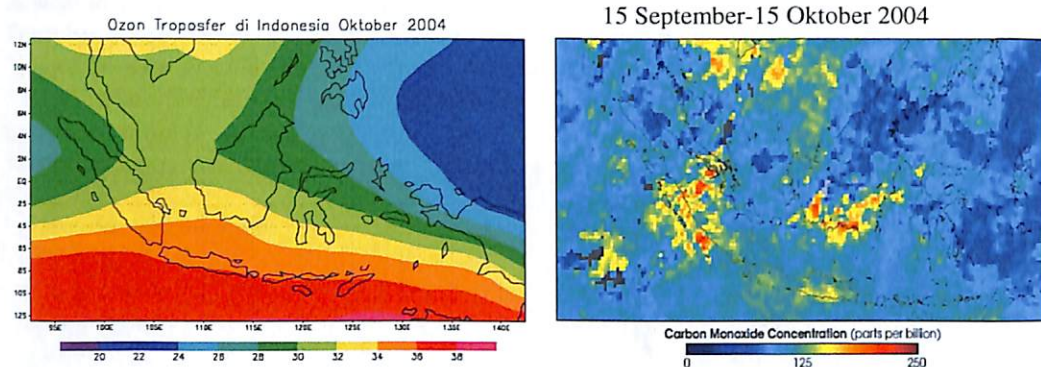
Konsentrasi ozon pada bulan Agustus di Sumatra, Jawa, dan di atas laut antara Kalimantan dan Malaka berkisar 26-28 DU, terlihat signifikan dengan peningkatan konsentrasi CO sebagai pembentuk ozon di wilayah yang sama (Gambar 5.2). Penyebaran ozon sampai Bali dan Nusa Tenggara terlihat dari konsentrasi ozon yang tinggi pula yaitu 26-28 DU. Kemungkinan adanya pengaruh Sedangkan konsentrasi ozon di Kalimantan dari utara sampai selatan pada bagian barat berkisar 26 DU. Konsentrasi ozon yang terlihat tinggi di bagian Indonesia Barat dibandingkan dengan di bagian Indonesia Timur yaitu < 24 DU.



Gambar 5.2. Ozon troposfer (Dobson Unit atau DU) rata-rata Agustus 2004 dan CO (ppbv) rata-rata pada 5-20 Agustus 2004 di Indonesia berdasarkan hasil pantauan MOPITT sensor dalam satelit Terra NASA.

Image yang diperoleh dari MOPITT (Data dari NCAR and University of Toronto MOPITT Teams, Oktober 2004) memperlihatkan konsentrasi CO rata-rata pada 700 hPa ( kira-kira ketinggian 3 km) dari 15 September sampai 15 Oktober 2004. Konsentrasi CO rata-rata di Indonesia seperti gambar 5.3 adalah 62,5-250 ppbv lebih tinggi dari bulan Juni dan Agustus 2004. Konsentrasi CO pada bulan September dan Oktober merata pada kisaran 125 ppbv dan diatas 125 ppbv di Sumatra, Kalimantan Selatan dan Jawa. Hal ini tidak terlepas dari sumber penyebabnya seperti kebakaran yang terjadi pada bulan Oktober di Sumatra dan Kalimantan Selatan yang luas sekali. Akibatnya konsentrasi CO tinggi di wilayah Sumatra dari Riau sampai Sumatra Selatan dan Kalimantan Selatan yaitu 150-250 ppbv. Pada bulan Oktober di Indonesia angin mulai bertiup dari barat dan juga angin pasat Timur laut yang berbelok di Kalimantan

Selatan dan Sumatra bagian timur menyebarkan polutan CO sampai ke Jawa. Konsentrasi CO di Jawa terlihat tinggi 125-150 ppbv. Kondisi CO permukaan ini berkorelasi dengan konsentrasi ozon secara baik sekali. Konsentrasi ozon troposfer tinggi di Sumatra Selatan, Kalimantan Selatan, Jawa sampai Nusa Tenggara yaitu 32-36 DU. Konsentrasi ozon ternyata sangat tinggi di atas samudera Hindia dalam kisaran 36-38 DU.



Gambar 5.3. Ozon troposfer (Dobson Unit atau DU) rata-rata Oktober 2004 dan CO (ppbv) rata-rata pada 15 September-15 Oktober 2004 di Indonesia berdasarkan hasil pantauan MOPITT sensor dalam satelit Terra NASA.

Konsentrasi ozon terlihat dipengaruhi oleh CO sebagai pembentuk ozon. Bila ozon *precursor* di troposfer meningkat, maka ozon troposfer akan meningkat pula tentunya. Mekanisme ini tentunya bisa dilihat dari proses pembentukan  $\text{CO} + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{O}_3$  (Anderson and Herschbach, 1985). Selain itu faktor meteorologi seperti angin sangat berperan dalam menyebarkan CO atau ozon troposfer yang telah terbentuk. Akibatnya daerah-daerah yang bukan sumber dapat menerima penyebaran polutan tersebut.

## 6. KESIMPULAN

Dampak kebakaran hutan yang terjadi pada tahun 2004 di Sumatra dan Kalimantan Selatan telah menghasilkan polutan CO yang melimpah. Pada Juni, Agustus dan Oktober 2004, konsentrasi CO berturut-turut adalah 0-210 ppbv; 0-225 ppbv dan 62,5-250 ppbv. Peningkatan CO ternyata berkorelasi pula dengan peningkatan ozon troposfer di daerah kebakaran dan juga meluas sampai di wilayah didekatnya disebabkan oleh hembusan angin. Konsentrasi rata-rata ozon di Indonesia adalah 20-32 DU; 20-32 DU dan 20-38 DU dari Juni, Agustus dan Oktober 2004.

### Ucapan terima kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya pada Ir. Rukmi Hidayati atas bantuannya dalam memberikan saran-saran.

### DAFTAR RUJUKAN

- Anderson J.G. and Herschbach D.R., 1985, *Atmospheric Ozone 1985 Volume I*, World Meteorology Organization Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 16, NASA, hal. 117-119.
- Kompas Cyber Media, September 11, 2006, *Api yang Terus Menyala*, Kompas, Jumat 24/6/2006, Kebakaran hutan di Riau.



- Mc. Gregor G.R. and Nieuwolt S., 1998, *Tropical Climatology: An Introduction To The Climates Of The Low Latitudes*, second edition, John Wiley & Sons, pp. 125-133.
- Meszaros E., 1981, *Atmospheric Chemistry, Fundamental Aspects*, Studies in Environmental Science 11, Elsevier Scientific Publishing Company, hal. 61.
- Seinfeld J.H. and Pandis S.N., 1998, *Atmospheric Chemistry and Physics from Air Pollution to Climate Change*, John Wiley and Sons. INC., New York, hal. 85-95.
- Schweithelm dan Glove, 1998, *Penyebab dan dampak kebakaran*, hal. 1-17.