

PENGARUH KARBON MONOKSIDA TERHADAP OZON PERMUKAAN

Novita Ambarsari, Ninong Komala, dan Afif Budiyono

Bidang Pengkajian Ozon dan Polusi Udara
di Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim LAPAN
Jln. Dr. Djundjungan No. 133 Bandung
e-mail : novita@bdg.lapan.go.id, novitaambar@yahoo.com

ABSTRACT

Surface ozone is one of air pollutant that can be very dangerous for human health and many other aspects of the living things. The effect of carbon monoxide (CO) to surface ozone formation has been studied. We used Dasibi Monitor Ozone and Horiba Ambient Carbon Monoxide Monitor to measure surface ozone and carbon monoxide concentration at air pollution monitoring station belong to LAPAN Bandung along 2008. The result shows that carbon monoxide affecting 20%–80% formation of surface ozone with negative correlation. A normal photochemical reaction is the main factors. Daily variation of surface ozone shows lower concentration occur in the morning and night, and higher concentration occur in the evening. While, daily variation of CO shows maximum concentration in the morning and night, and lower in the evening.

Keywords: *Ozone; Carbon Monoxide; Photochemical reactions*

PENDAHULUAN

Ozon permukaan merupakan salah satu polutan udara yang telah lama diketahui berdampak negatif terhadap fungsi paru-paru manusia, keseimbangan hutan, pertanian, dan lingkungan baik alami maupun buatan manusia. Kesulitan mengendalikan ozon permukaan disebabkan karena pembentukannya bukan disebabkan emisi secara langsung ke atmosfer, melainkan akibat serangkaian reaksi kompleks yang melibatkan senyawa organik yang mudah menguap dan oksida nitrogen. Konsentrasi ozon permukaan meningkat pada kondisi meteorologi tertentu.¹

Tingkat polusi udara oleh ozon permukaan diklasifikasikan berdasarkan konsentrasinya di udara. Bila konsentrasinya masih di bawah 100 ppbv tergolong normal. Bila lebih dari 100 ppbv dapat berbahaya bagi kesehatan manusia.²

RUMUSAN MASALAH

Ozon di permukaan terbentuk melalui reaksi oksidasi fotokimia antara karbon monoksida

(CO) dan senyawa organik yang mudah menguap (VOCs) dengan adanya nitrogen oksida ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$). Pengaruh CO terhadap pembentukan ozon perlu diketahui untuk memperkirakan efisiensi pembentukan dan transpor ozon. Penelitian menunjukkan bahwa pengaruh CO terus menerus meningkat terhadap pembentukan ozon permukaan. *National Research Council America* tahun 1999 menyimpulkan bahwa sekitar 20% ozon permukaan secara langsung berasal dari emisi CO.³

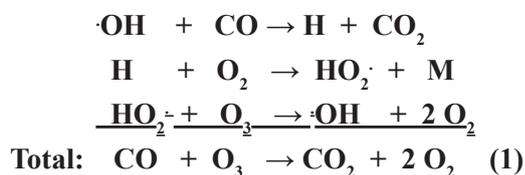
Teori

Karbon monoksida (CO) merupakan salahsatu prekursor (pembentuk) ozon yang sangat berpengaruh terhadap proses pembentukan ozon di atmosfer. CO dan ozon merupakan dua spesi kunci di dalam sistem fotokimia di troposfer bawah (permukaan). Sekitar 70% oksidan kimia di atmosfer bereaksi dengan CO.⁴

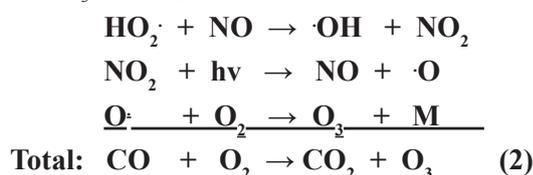
CO bereaksi dengan radikal OH di atmosfer. Radikal OH berperan utama sebagai agen pembersih atmosfer untuk menghilangkan polutan

udara atau gas rumah kaca terutama metana dari atmosfer. Bila tidak terdapat NO_x di atmosfer maka reaksi akan berjalan ke arah penguraian ozon dengan reaksi keseluruhan terjadi antara CO dengan O_3 menghasilkan CO_2 dan oksigen.

Reaksi tersebut dapat dituliskan sebagai:



Bila terdapat NO_x di atmosfer, reaksi akan berjalan ke arah pembentukan ozon. Hal ini menyebabkan konsentrasi ozon di permukaan meningkat. Reaksi keseluruhan terjadi antara CO dengan oksigen (oksidasi CO) menghasilkan CO_2 dan O_3 sesuai persamaan reaksi berikut:



Berdasarkan reaksi di atas, dapat diperkirakan bahwa peningkatan konsentrasi CO di permukaan yang diakibatkan oleh emisi antropogenik, akan meningkatkan konsentrasi ozon permukaan yang bersifat polutan dengan adanya prekursor ozon yang lain terutama NO_x ⁵.

Kota Bandung termasuk kota besar dengan tingkat polusi yang cukup tinggi. Hal ini ditandai dengan nilai konsentrasi CO ambien di stasiun pengukur polusi udara LAPAN Bandung menunjukkan konsentrasi rata-rata di atas 1 *part per milion volume* (ppmv). Untuk kota-kota besar seperti Bandung, tingkat polusi CO dapat mencapai 1-10 ppmv⁶.

Tujuan

Tulisan ini akan membahas mengenai pengaruh konsentrasi karbon monoksida sebagai salah satu zat pembentuk ozon terhadap konsentrasi ozon permukaan di stasiun pengukuran polusi udara LAPAN di Bandung pada tahun 2008.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Pengukuran ozon permukaan dilakukan secara kontinu setiap hari. Untuk penelitian ini digu-

nakan data ozon permukaan harian pada tahun 2008. Penelitian dilakukan di stasiun pengukuran polusi udara LAPAN Bandung.

Cara Pengumpulan Data

Pengukuran ozon permukaan dilakukan dengan instrumen *Monitor Ozon 1006-AHJ* yang merupakan suatu sistem pengukuran konsentrasi ozon secara kontinu. Metode analisis dengan alat ini didasarkan pada penyerapan energi UV. Energi UV yang diserap oleh ozon digunakan untuk proses transisi elektronik. Udara di luar dialirkan ke dalam alat dengan bantuan pompa peristaltik. Kemudian dialirkan ke dalam sel sampel untuk disinari lampu UV dengan panjang gelombang yang sesuai dengan serapan molekul ozon. Lalu hasilnya dibaca oleh detektor berupa intensitas sinar yang diserap, kemudian diolah secara komputerisasi menghasilkan nilai konsentrasi ozon permukaan dalam skala ppbv (bagian per miliar volume).

Pada Gambar 1 ditampilkan secara sederhana skema alat *Monitor ozon 1006-AHJ*. Spesifikasi *Monitor Ozon 1006-AHJ* meliputi daerah pengukuran dari 0–1 ppmv dengan resolusi 0,01 ppmv. Akurasi atau ketepatan pengukuran ini sangat baik, yaitu $\pm 1\%$, kebolehulangan $\pm 1\%$, dan ketidaklinieran $\pm 1\%$. Waktu pengukuran total dengan alat ini sangat cepat yaitu 12 detik untuk sekali pengukuran (penggantian gas = 4 detik, pengukuran = 2 detik, untuk sampel dan gas bebas ozon sebagai acuan). Laju alir gas diatur 2,5 l/menit.

Pengukuran CO ambien di Bandung dilakukan dengan alat *Horiba Ambient Carbon Monoxide Monitor* tipe APMA-370. Prinsip pengukuran konsentrasi CO dengan instrumen Horiba adalah dengan melakukan *sampling* udara secara kontinu dengan pompa, kemudian dialirkan menuju sel sampel lalu disinari dengan lampu fotokimia. Panjang gelombang disesuaikan dengan yang untuk serapan CO. Prinsip penentuan konsentrasi CO sama dengan prinsip penentuan konsentrasi ozon permukaan.

Pada Gambar 2 ditampilkan alat *Horiba Ambient Carbon Monoxide Monitor* tipe APMA-370.

Spesifikasi *APMA-370 Ambient Carbon Monoxide Monitor* meliputi daerah pengukuran dari 0–100 ppm, kebolehulangan pengukuran sebesar $\pm 1\%$, ketidaklinieran $\pm 1\%$, dan laju alir gas diatur 1,5 l/menit.

Metode Analisis Data

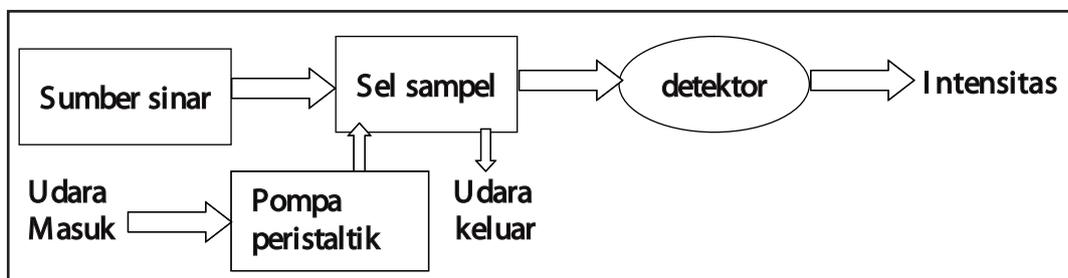
Data ozon permukaan dan CO hasil pengukuran *Dasibi Monitor Ozone* dan *Horiba Ambient Carbon Monoxide Monitor* merupakan data per menit dan per tiga menit setiap hari yang diukur di stasiun pengukuran polusi udara LAPAN Bandung ($6,9^\circ\text{LS}$, $107,58^\circ\text{BT}$). Data diolah menjadi data rata-rata per jam untuk ozon permukaan dan CO lalu dibuat grafik siklus hariannya selama 24 jam setiap bulan pada tahun 2008 untuk dilihat puncak minimum dan maksimumnya. Data rata-rata per jam ozon permukaan kemudian dibandingkan dengan data rata-rata per jam CO untuk dilihat kecenderungan kenaikan dan penurunannya dari kedua senyawa tersebut. Data rata-rata per jam kemudian diolah lagi menjadi data rata-rata bulanan untuk ozon permukaan dan CO agar diperoleh siklus

tahunannya. Untuk mengetahui pengaruh CO terhadap ozon permukaan dibuat grafik regresi linier antara CO terhadap ozon permukaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 3 dapat dilihat variasi harian CO dan ozon permukaan dengan pola yang berlawanan.

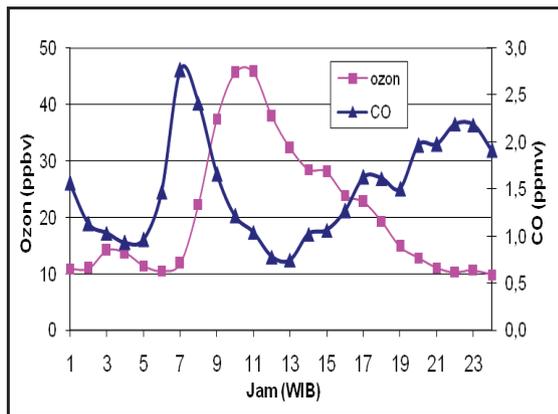
Pada Gambar 3 terlihat konsentrasi CO mulai meningkat setelah matahari terbit dan mencapai puncak maksimum pada pukul 07.00 WIB sebagai akibat terjadinya peristiwa adveksi polutan di lapisan batas atmosfer. Pada pagi hari, aktivitas manusia meningkat, penggunaan kendaraan bermotor, dan aktivitas industri dimulai. Saat pukul 07.00 sinar matahari meningkat sehingga CO naik ke lapisan batas atmosfer dan terukur oleh alat sehingga konsentrasi CO meningkat. CO kemudian digunakan untuk menghasilkan ozon permukaan sesuai reaksi 2 dengan selang waktu hingga tengah hari (pukul 11.00–13.00). Pola ini terjadi untuk setiap bulan di tahun 2008 dengan konsentrasi rata-rata CO adalah 1,158 ppmv. Berbeda dengan CO, konsentrasi O_3



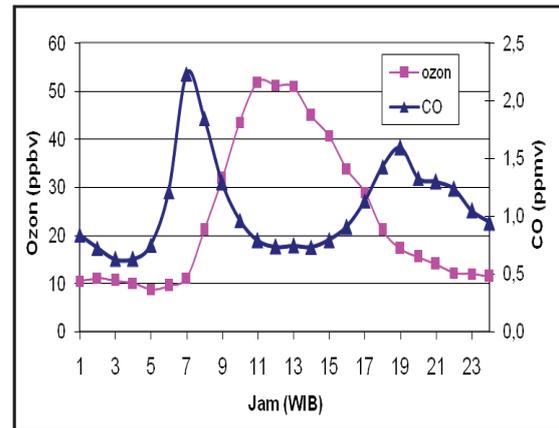
Gambar 1. Skema Alat Monitor Ozon 1006-AHJ



Gambar 2. Horiba Ambient Carbon Monoxide Monitor.⁷



Januari



Agustus

Gambar 3. Variasi harian ozon permukaan dan CO untuk tahun 2008 diwakili oleh bulan Januari dan Agustus.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Secara Statistik Nilai Rata-rata Bulan Ozon Permukaan (Kiri), CO (Kanan) Tahun 2008.

Parameter	Nilai (ppbv)
Rata-rata	23,61
Stdev	2,64
Minimum	18,10
Maksimum	27,62
Selisih	9,52

Parameter	Nilai (ppmv)
Rata-rata	1,156
Stdev	0,212
Minimum	0,779
Maksimum	1,492
Selisih	0,713

permukaan rendah di pagi hari dan mencapai maksimum pada tengah hari (pukul 11.00–13.00 WIB) dengan konsentrasi rata-rata 23,34 ppbv.

Berdasarkan Gambar 3 dan persamaan reaksi 2 yang telah dijelaskan sebelumnya, dapat terlihat peningkatan konsentrasi CO menyebabkan peningkatan konsentrasi ozon permukaan. Berkaitan dengan reaksi fotokimia yang lambat, CO diketahui mempunyai peranan penting dalam siklus pembentukan O_3 terutama dalam skala yang luas di atmosfer bebas, sedangkan VOCs mempunyai peranan penting dalam pembentukan O_3 pada skala lokal.⁶

Gambar 4 menunjukkan konsentrasi rata-rata bulanan untuk CO dan ozon permukaan yang membentuk suatu variasi tahunan. Dari gambar terlihat pola yang berlawanan antara ozon permukaan dan CO seperti halnya variasi harian. Konsentrasi ozon permukaan yang tinggi menyebabkan konsentrasi CO rendah. Begitu juga sebaliknya. Hal ini sesuai dengan teori reaksi fotokimia yang lambat menjadikan tingginya konsentrasi ozon permukaan disebabkan pening-

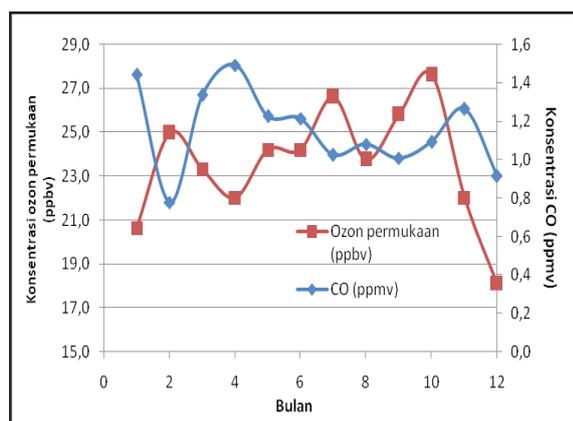
katan konsentrasi CO sebelum reaksi berjalan.⁶ Setelah reaksi berjalan, konsentrasi CO akan berkurang seiring dengan reaksi pembentukan ozon permukaan.

Analisis secara statistik dilakukan untuk data rata-rata bulanan ozon permukaan dan CO. Konsentrasi ozon permukaan rata-rata setahun adalah 23,61 ppbv, minimum terjadi pada bulan Desember 2008 bernilai 18,10 ppbv, sedangkan maksimum terjadi di bulan Oktober 2008 bernilai 27,62 ppbv. Konsentrasi CO rata-rata setahun adalah 1,156 ppmv, minimum terjadi pada bulan Februari bernilai 1,492 ppmv, sedangkan maksimum terjadi pada bulan April bernilai 1,492 ppmv. Standar deviasi kedua pengukuran menunjukkan nilai sebaran data yang tidak berbeda jauh dari nilai rata-rata keduanya. Hasil perhitungan secara statistik dapat dilihat pada Tabel 1.

Gambar 5 memperlihatkan korelasi antara CO dengan ozon permukaan. Dari gambar terlihat nilai R^2 sebesar 0,438 menyatakan pengaruh CO terhadap pembentukan ozon permukaan sebesar 43,8% pada bulan Januari 2008. Nilai koefisien

korelasi ini berbeda setiap bulannya berkisar 0,2–0,8 (20%–80%) dipengaruhi oleh berbagai faktor di antaranya kehadiran prekursor ozon yang lain, yaitu NO_x (NO_2 dan NO), VOCs, juga faktor meteorologi. Nilai korelasi yang negatif menunjukkan berkurangnya konsentrasi CO menyebabkan konsentrasi ozon permukaan meningkat akibat proses oksidasi CO pada reaksi fotokimia yang kemudian membentuk ozon permukaan.

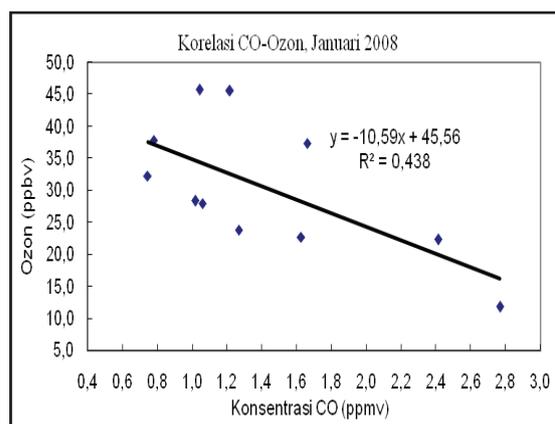
Pada Gambar 6 dapat dilihat kecenderungan variasi harian CO dan ozon permukaan setiap bulan sepanjang tahun 2008. Berdasarkan gambar terlihat pola yang sama seperti Gambar 3 dengan puncak konsentrasi terjadi di pagi dan malam hari, sedangkan minimum di malam hari. Konsentrasi CO tertinggi terjadi pada bulan April 2008 sebesar 2,772 ppmv pada pukul 07.00 WIB.



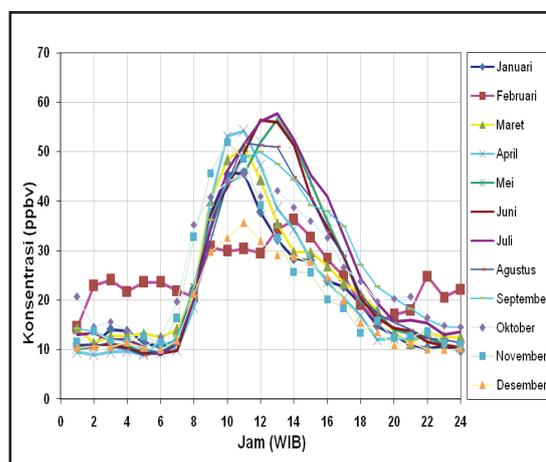
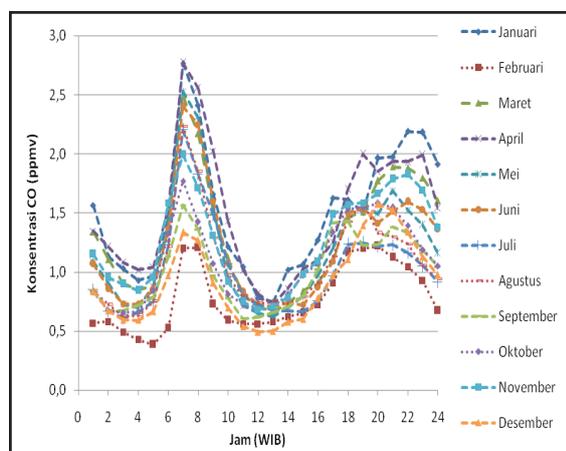
Gambar 4. Variasi Tahunan Ozon Permukaan dan CO

Konsentrasi ozon permukaan tertinggi terjadi pada bulan Juli 2008 sebesar 57,72 ppbv pada pukul 13.00 WIB. Dari nilai ini dapat diketahui bahwa tingkat polusi udara oleh ozon permukaan di Bandung masih dalam batas normal yaitu di bawah 100 ppbv.

Pola harian ozon permukaan ditandai dengan adanya puncak maksimum konsentrasi rata-rata per jam ozon permukaan di siang hari, berhubungan dengan radiasi matahari maksimum pada saat tersebut. Berlawanan dengan pola harian CO. Siklus ini juga ditandai dengan adanya penurunan/lembah pada kurva konsentrasi rata-rata ozon per jam pada pagi dan sore hari berhubungan dengan jam sibuk dan jalur lalu lintas yang padat.⁸



Gambar 5. Korelasi CO terhadap Ozon Permukaan



Gambar 6. Kecenderungan variasi harian CO (kiri) dan ozon permukaan (kanan) setiap bulan selama tahun 2008.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa CO berpengaruh sebesar 20–80 % terhadap pembentukan ozon permukaan dengan korelasi negatif. Peningkatan konsentrasi ozon permukaan seiring dengan penurunan konsentrasi CO berkaitan dengan berjalannya reaksi fotokimia oksidasi CO yang menghasilkan ozon. Variasi harian CO menunjukkan peningkatan di pagi dan malam hari, sedangkan pada siang hari mengalami penurunan. Sebaliknya, variasi harian konsentrasi ozon permukaan tinggi di siang hari dan rendah di malam hari.

Selain itu, hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa walaupun konsentrasi CO di Bandung cukup tinggi, tetapi tingkat polusi udara oleh ozon permukaan di wilayah pengukuran Bandung masih dalam batas normal yaitu di bawah 100 ppbv. Akan tetapi, masyarakat kota Bandung terutama daerah dengan jumlah penduduk yang padat harus tetap waspada dengan kemungkinan peningkatan polusi udara oleh ozon permukaan bila masyarakat tidak mengubah gaya hidup yang menghasilkan tingkat emisi polutan sangat tinggi, baik dari kendaraan bermotor maupun penggunaan energi lainnya yang menghasilkan zat-zat pembentuk ozon permukaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bpk. Drs. Afif Budiyo selaku kepala bidang Pengkajian Ozon dan Polusi Udara LAPAN Bandung atas dukungan yang diberikan pada penulis, Ibu Ninong Komala, selaku peneliti senior yang telah banyak membimbing penulis selama ini, dan

Bpk. Masno Ginting selaku pembimbing karya tulis ilmiah selama diklat peneliti di LIPI. Tidak lupa kepada seluruh panitia diklat peneliti LIPI gelombang 1 tahun 2009 dan seluruh pihak yang telah banyak membantu penulis dari awal bekerja di LAPAN hingga saat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Schreiber, V. 1996. *A Synoptic Climatological Evaluation Of Surface Ozone Concentrations in Lancaster Country Pennsylvania*. Millersville University of Pennsylvania.
- ²Idaho Departement of Environmental Quality. 2008. *Ground Level Ozone*.
- ³Lin Zhang. 2006. *Ozone-CO correlations determined by the TES satellite instrument in continental outflow regions*. Geophysical Research Letters, Amerika: Vol. 33.
- ⁴S. Henne. 2007. *Representativeness and climatology of carbon monoxide and ozone at the global GAW station Mt. Kenya in equatorial Africa*. Atmospheric Chemistry and Physics Discussion, Switserland : 7, 17769–17824.
- ⁵Fehsenfeld, 1993. *Tropospheric Ozone: Distribution and Sources*. Global Atmospheric Chemical Change. Hal. 169–174.
- ⁶Coll, I. et al. 2006. *On the determining role of CO in local ozone production*. Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 10025.
- ⁷<http://www.horiba.com/process-environmental/products/ambient/details/apma-370-ambient-carbon-monoxide-monitor-270/>. Diakses pada tanggal 23 Maret 2008.
- ⁸Ambarsari, Novita, Ninong Komala, dan Heri Suherman. 2009. *Temporal Variation of Surface Ozone Concentration in Bandung*, Prosiding Workshop Ground Based Atmospheric Observation RISH, LAPAN Bandung.